# 大众天文学

上册

ASTRONOMIE POPULAIRE

〔法〕C.弗拉马里翁 著

李珩 翻译 增补

李元 校译 配图

一部内容最全、篇幅最大、插图最多的天文科普巨篇

一部法国国家图书馆镇馆之宝、传遍全球的科普经典

一部为普通读者编写的带有文学色彩的通俗科普名著

中国天文学会名誉理事长王绶琯

中国科普作家协会副理事长卞毓麟

联袂鼎力推荐

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

《大众天文学》是一本世界科普名著，中译本由我国著名天文学家和翻译家李珩教授译著，可谓名著名译，谨予推荐。

王绶琯（中国科学院院士，曾任北京天文台台长、中国天文学会理事长、中国科学院数学物理学部主任）

---

用令人着迷的语言，叙说宇宙的神奇与壮美；

以晓畅优雅的文字，构筑科学通俗化的丰碑。

卞毓麟（中国科学院国家天文台客座教授，中国科普作家协会副理事长）



# 大众天文学

上册

ASTRONOMIE POPULAIRE

〔法〕C.弗拉马里翁 著
李珩 翻译 增补
李元 校译 配图

一部内容最全、篇幅最大、插图最多的天文科普巨篇
一部法国国家图书馆镇馆之宝、传遍全球的科普经典
一部为普通读者编写的带有文学色彩的通俗科普名著

中国天文学会名誉理事长王绶琯
中国科普作家协会副理事长卞毓麟
联袂鼎力推荐

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

**图书在版编目(CIP)数据**

大众天文学.上下册/(法)C.弗拉马里翁(Flammarion,C.)著;李珩译.—北京:北京大学出版社,2013.5

ISBN 978-7-301-22325-3

Ⅰ.①大… Ⅱ.①弗… ②李… Ⅲ.①天文学-普及读物 Ⅳ.①P1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第059319号

书　　名:大众天文学(上下册)

著作责任者:〔法〕C.弗拉马里翁 著　李珩 翻译 增补　李元 校译 配图

责 任 编 辑:刘 维

标 准 书 号:ISBN 978-7-301-22325-3/P·0085

出 版 发 行:北京大学出版社

地　　址:北京市海淀区成府路205号 100871

网　　址:http://www.pup.cn

新 浪 微 博:@北京大学出版社

电 子 信 箱:zpup@pup.cn

电　　话:邮购部62752015 发行部62750672

编辑部62764976 出版部62754962

印 刷 者:北京大学印刷厂

经 销 者:新华书店

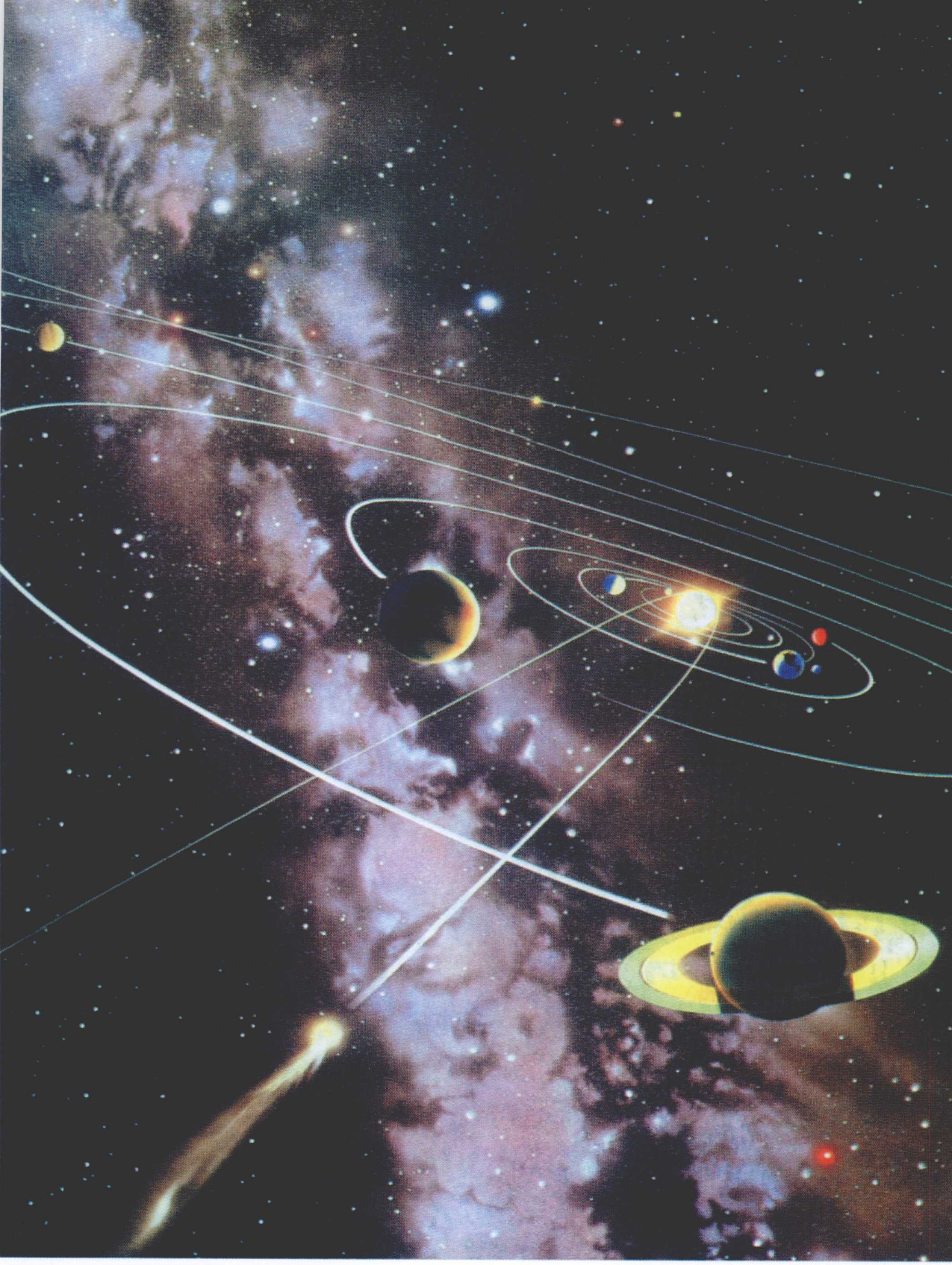
787毫米×1092毫米 16开本 57.25印张 32页彩插 1000千字

2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷

定　　价:128.00元(上下册)

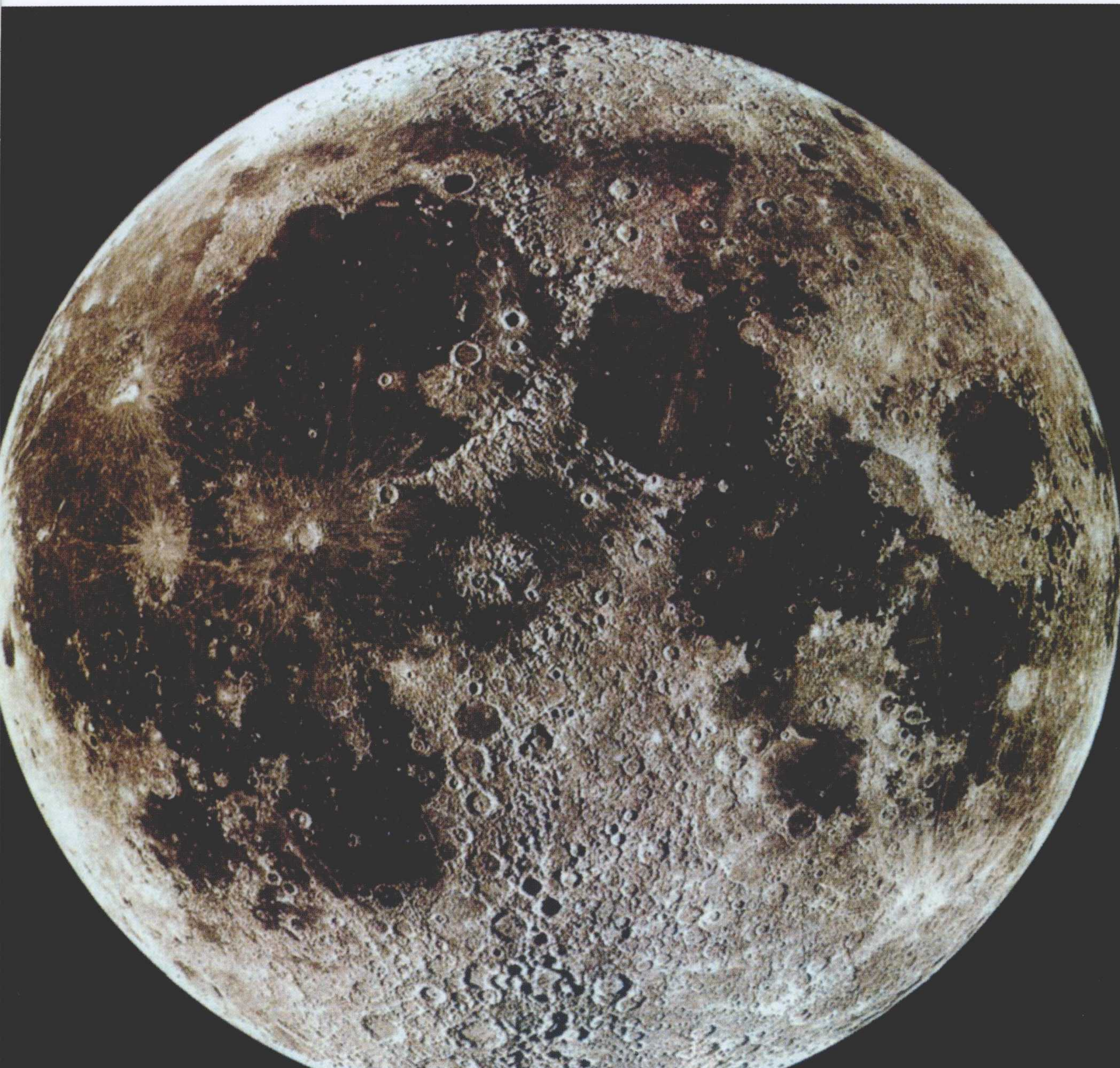


**弗拉马里翁**（Camille Flammarion，1842—1925），法国天文学家，世界著名的科普作家。《大众天文文学》初版于1880年,是他最成功的作品，已成为世界科普名著。



**太阳系的今天** 〔美〕K.魏末 绘

约46亿年前，地球和月球以及太阳系的其他天体先后形成，终于有了今天的模样。带环的土星显而易见，在它上方的蓝色行星正是地球。



**月面拼合照片**

由上弦（右）和下弦（左）照片合成，能看清月面众多环形山及“海洋”分布的立体效果。



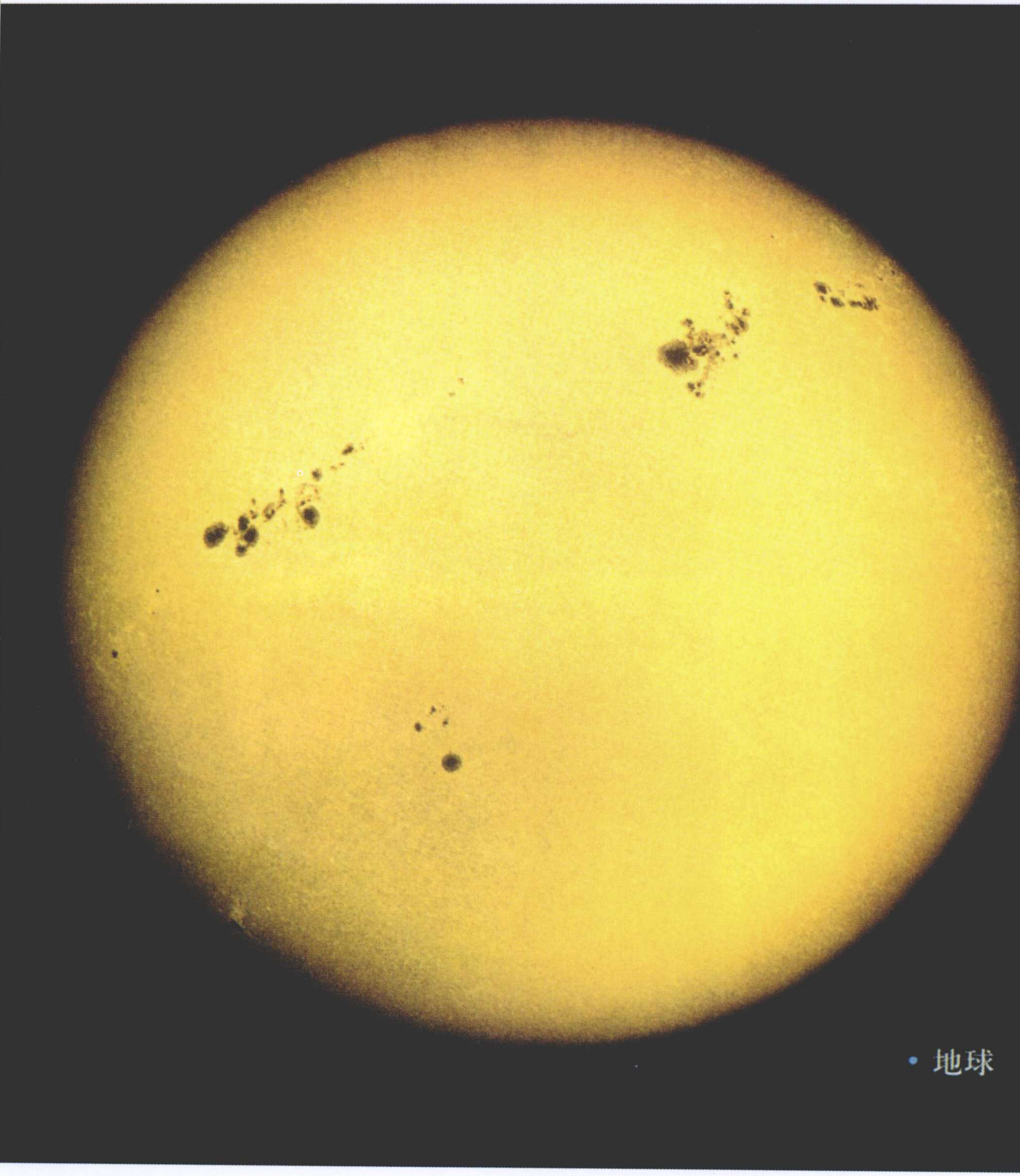
人在月球上

1969 年 7 月 20 日，人类第一次登上月球，是人类第一次走出地球登上别的星球，当第一个脚印出现后，他说“这是个人的一小步，是人类的一大步！”



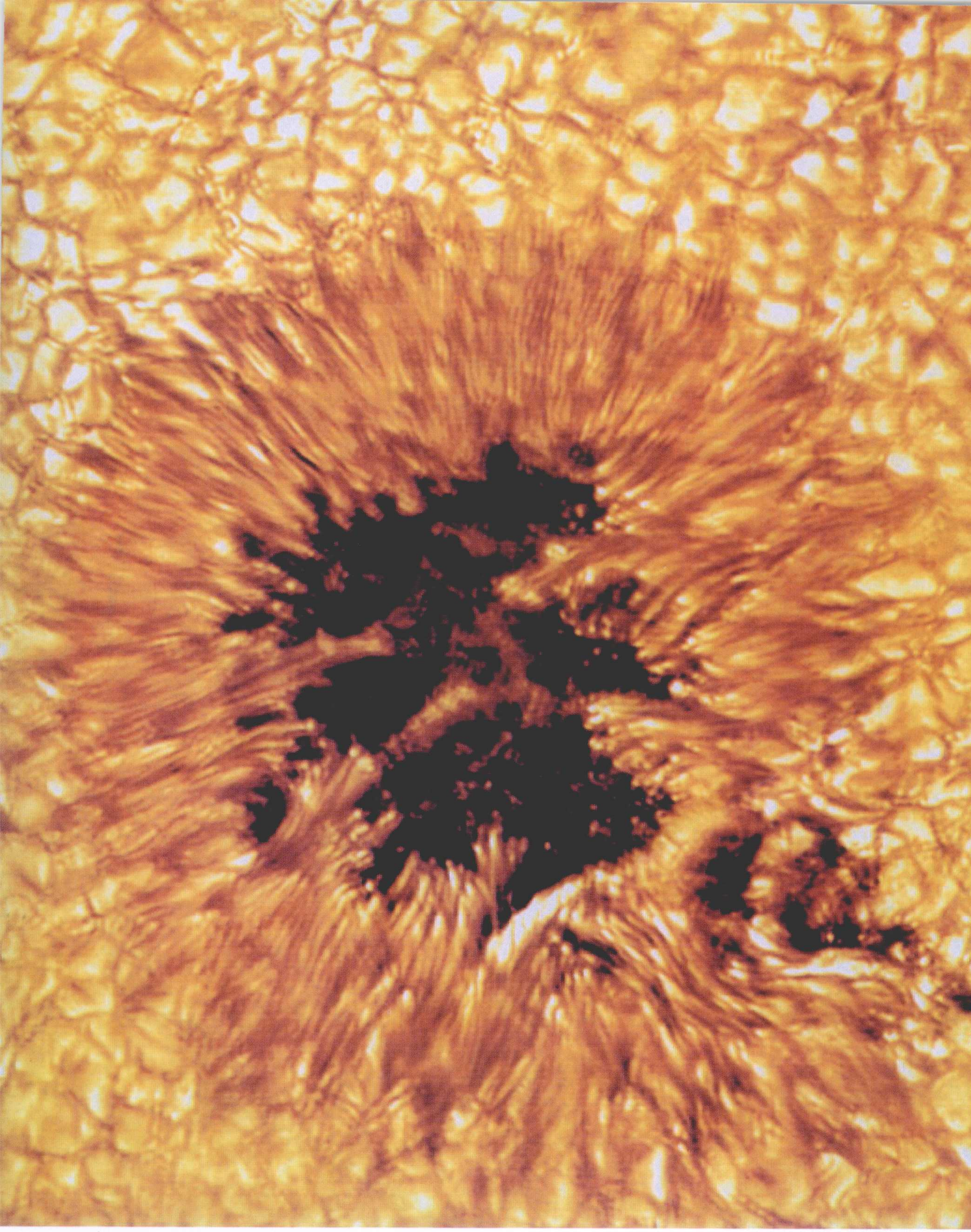
**地球和月球合影**

1992 年,“伽利略”行星探测器在飞往木星的旅途中回首地球,拍下了这张地（大）月（小）合影,这时离地球有 620 万千米之遥。你瞧，它们多像一对“双行星”。




**太阳和地球**

巨大的太阳体积是地球的 130 万倍。太阳上的大黑子群，隔着云雾用眼睛可以直接看到。它们是太阳表面温度较低的部分。



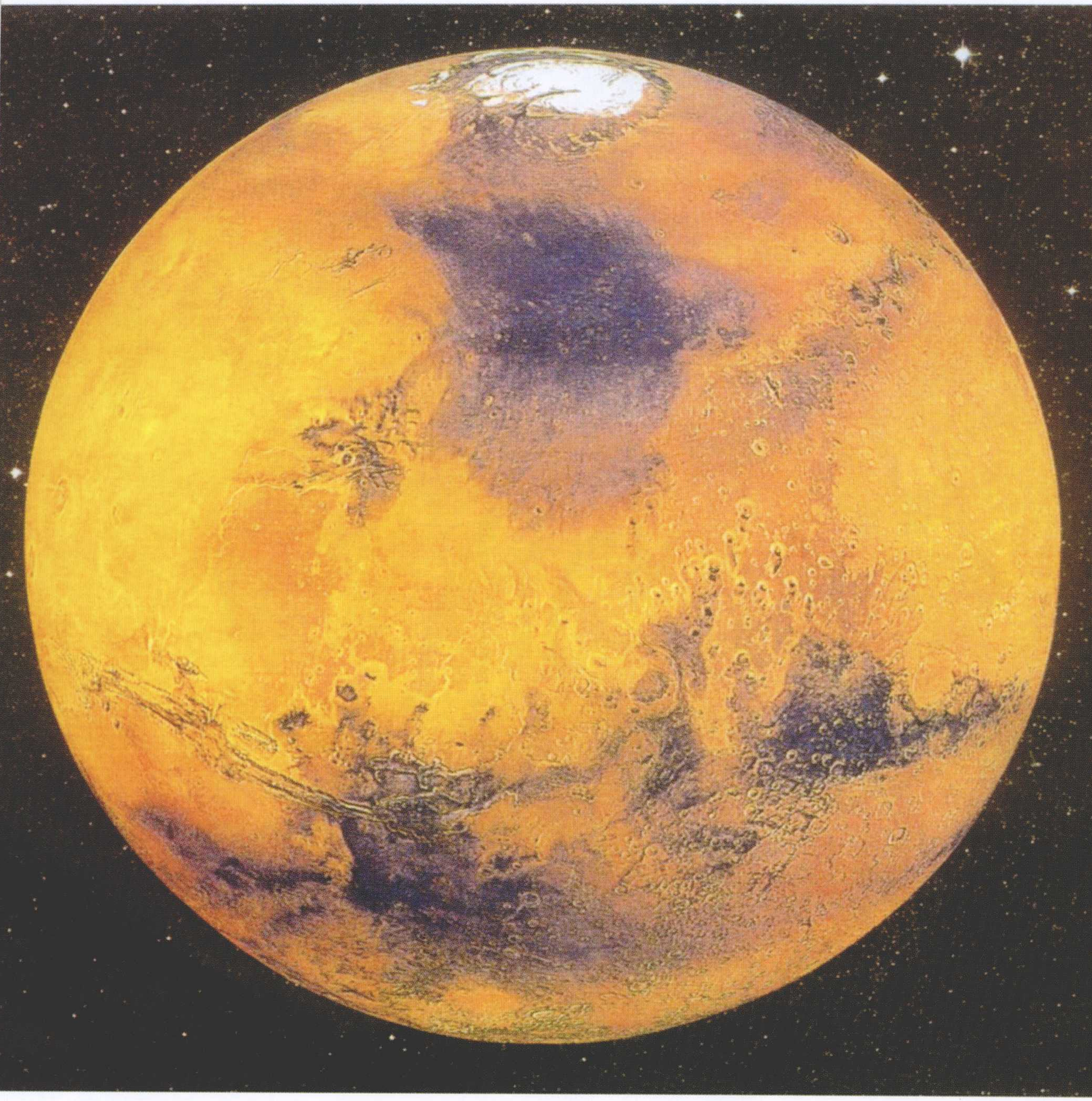
**太阳黑子和米粒组织**

这张异常清楚的太阳黑子照片，显示它的结构和周围的米粒组织。每个“米粒”的直径约有1 000千米，它们上下翻滚，奔腾不息。



满布坑穴的水星

最接近太阳的行星，从 1974 年发射的“水手十号”探测器近拍照片中看到它是一段满布坑穴的行星，很像月球，但比月球的陨石还要多，而且陨石比较小。



**火星在召唤**

火星是对人类最有吸引力的行星，人类将在 21 世纪登上火星。火星比地球小，但它有太阳系最高的火山（24 千米）。还有长达 4 000~5 000 千米的大峡谷，从这张用大量照片拼合成的火星图上可以明显看出。



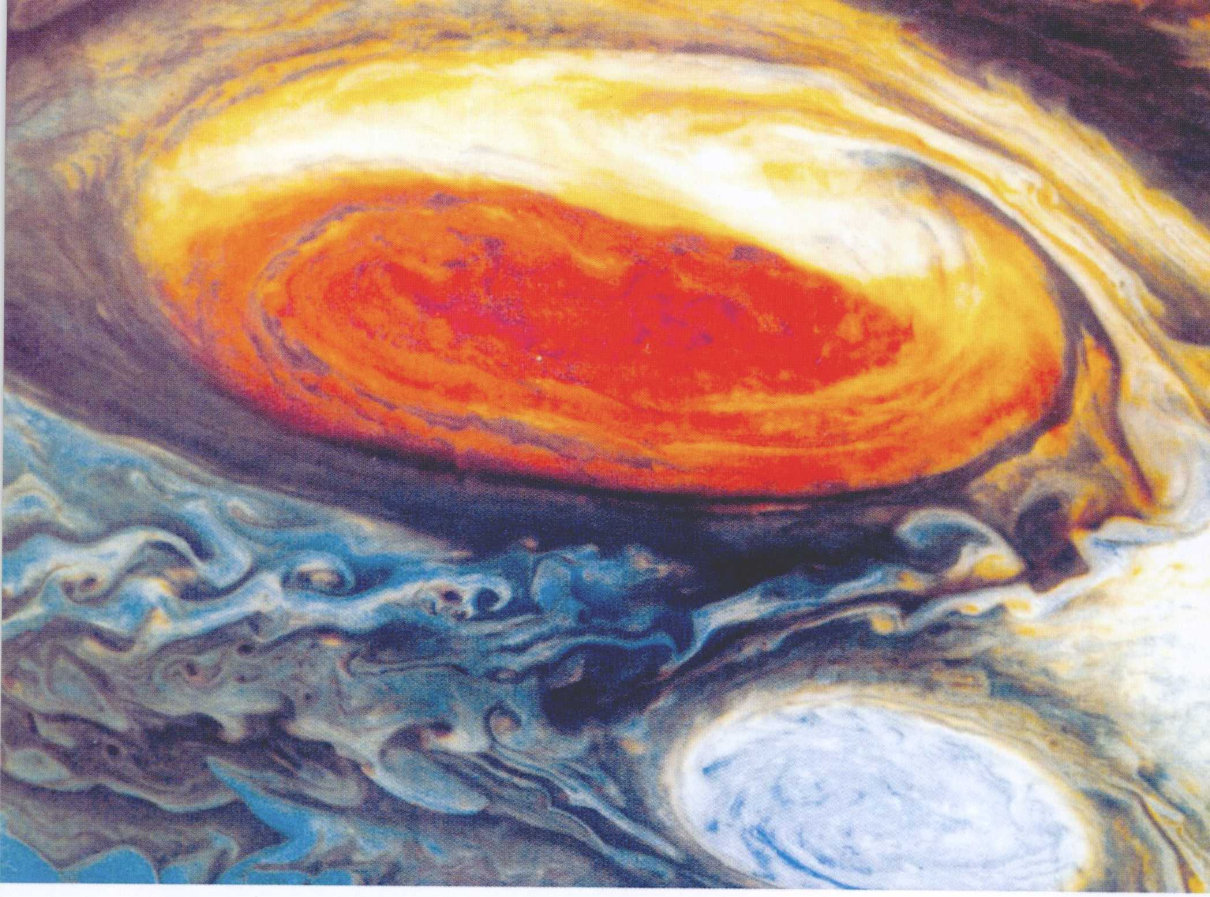
**火星上的水哪里去了?**

虽然在火星上还没有找到水，但是种种迹象表明，火星上的确有过水流的痕迹，这就是可以证明的照片之一。这里的水哪里去了呢？是被蒸发掉了，还是流入地下？



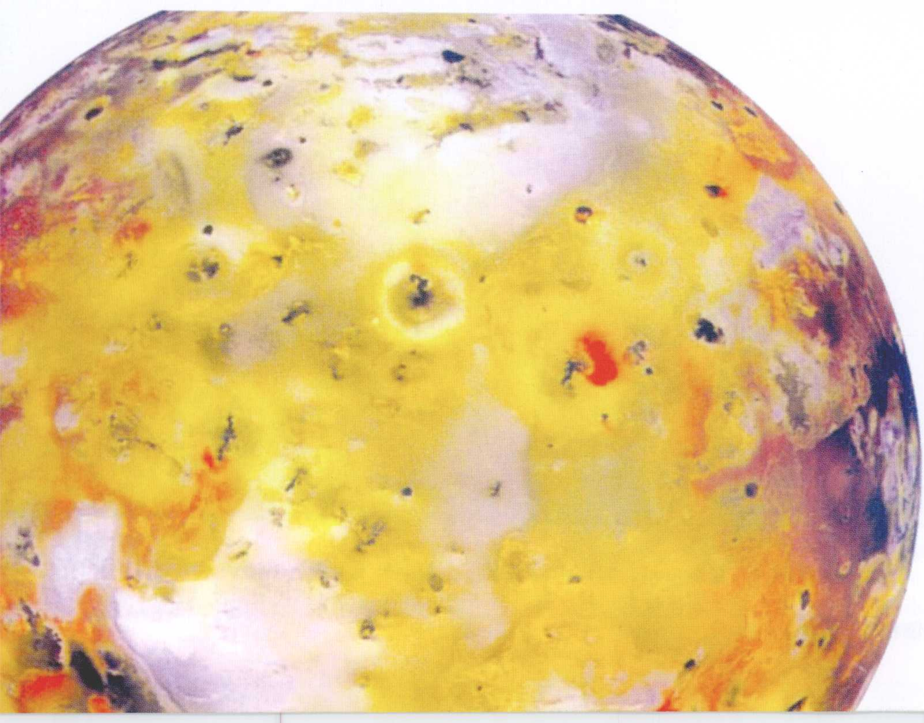
木星和它的四大卫星

太阳系中最大的行星木星，共有 39 颗卫星，照片中部是木星，左上为木卫Ⅳ，右上为木卫Ⅲ，右下为木卫Ⅰ，靠近木星的为木卫Ⅱ。这是“旅行者一号”探测器拍摄的拼合照片（不代表真实大小）。四大卫星被命名为“伽利略”卫星。



木星的大红斑

三四百年来，它一直是望远镜观测的重要目标，从没有消失过。1979 年“旅行者一号”探测器从近处拍下了这张清晰照片，它是木星的强大旋涡，足能装得下几个地球！它的大小和颜色也有变化。



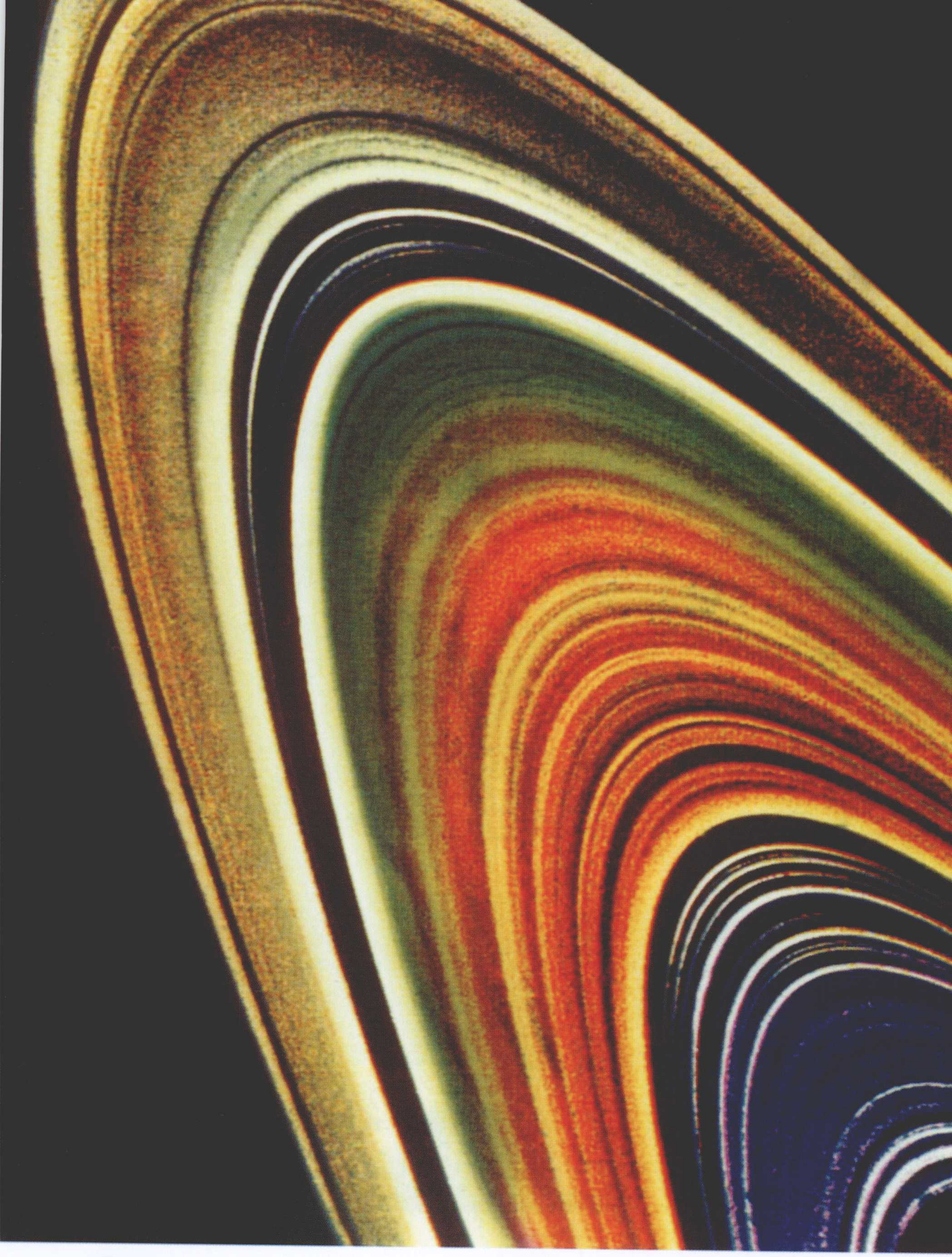
火山活跃的木卫 I

“伽利略”探测器从近处拍得的木卫 I 照片。那里有大量的火山口，并且还有不少仍在喷发。



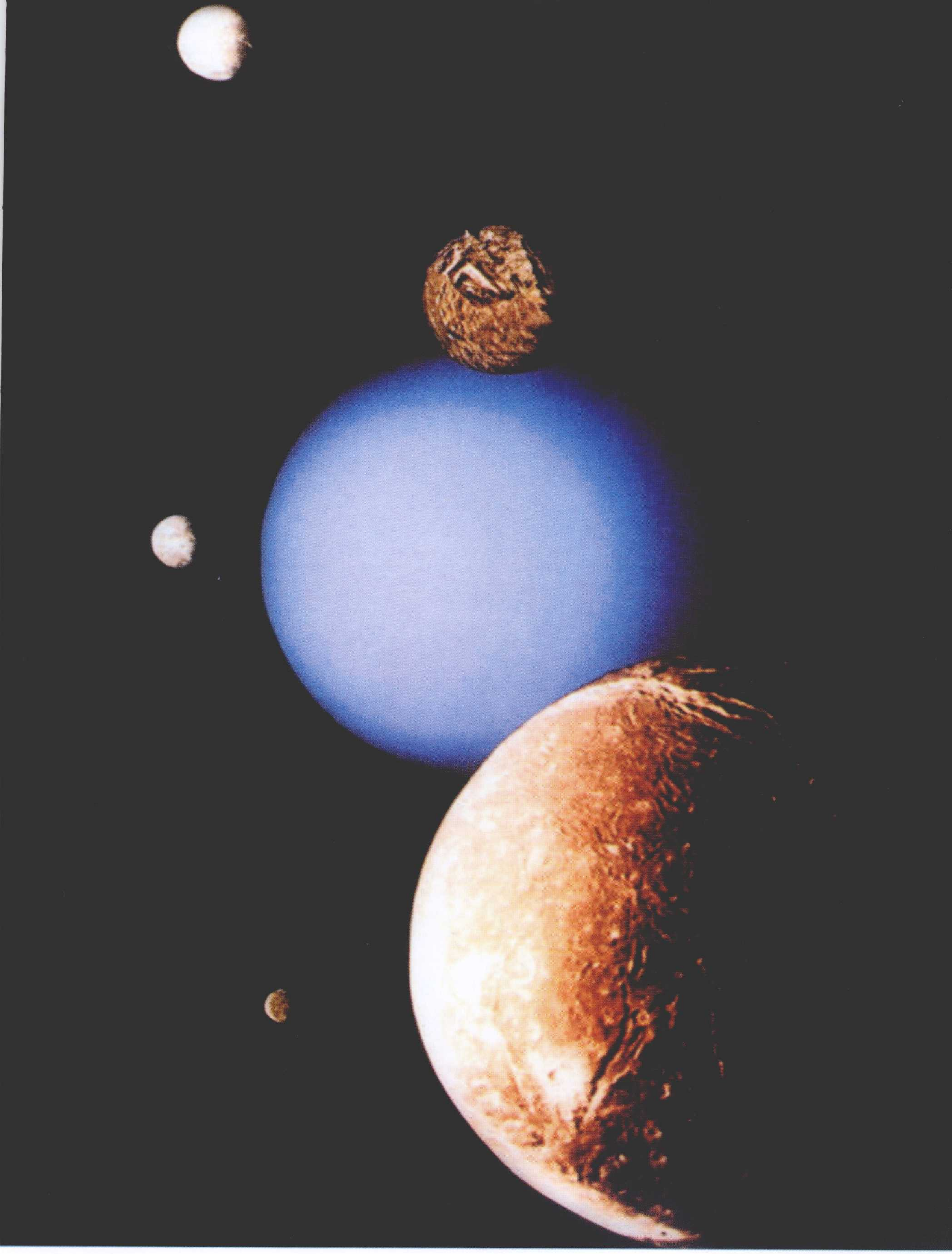
**土星世界**

带着宽大光环的土星显示出它不平凡的美姿。这张用“旅行者一号”拍摄的近距照片，又把几颗卫星照片拼接成母子合影。在土星上的是木卫Ⅰ，它上面的大卫星是土卫Ⅱ，右边是土卫Ⅳ……现知土星共有30颗卫星。



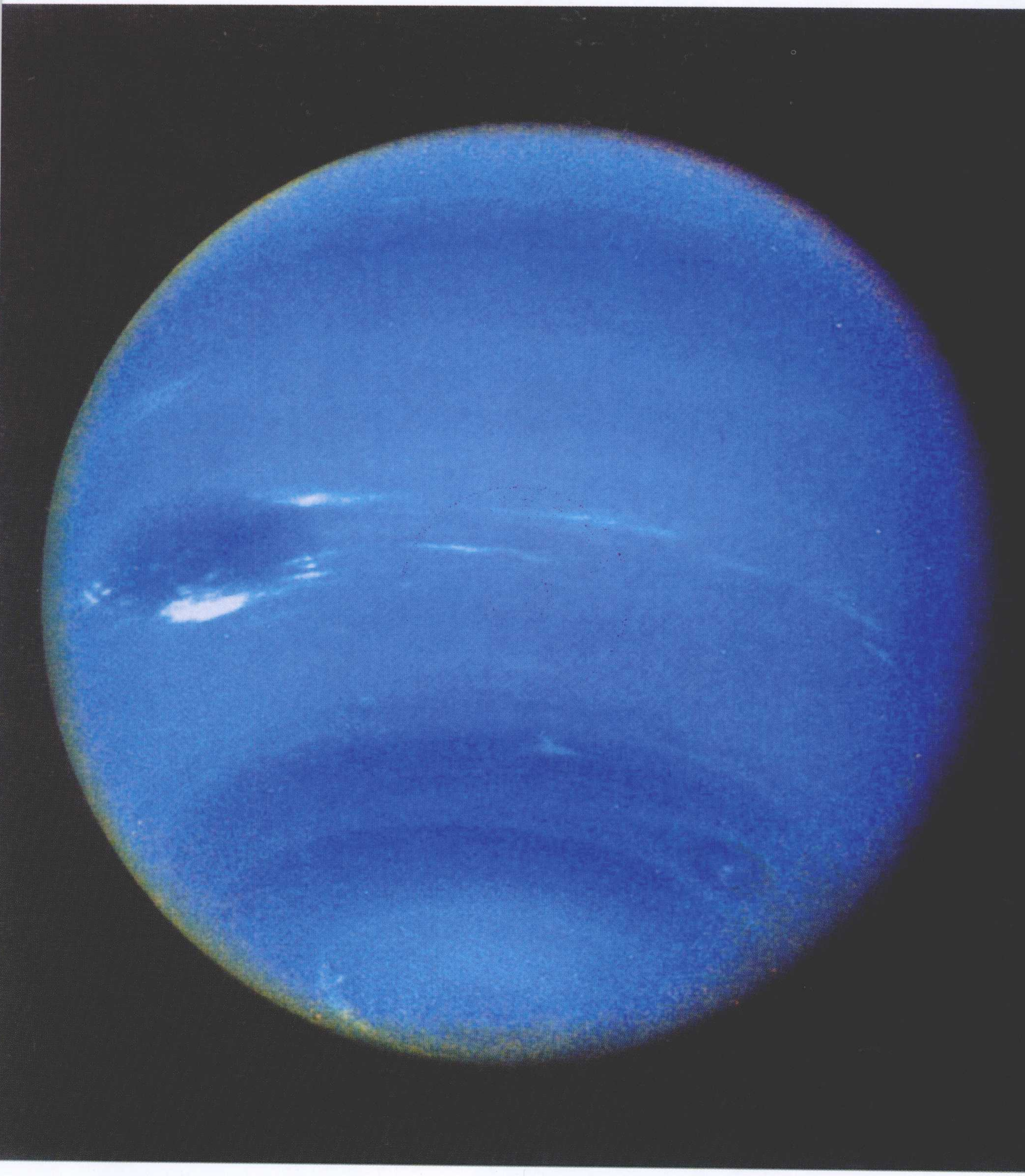
**土星光环的魅力**

土星光环是太阳系中最美妙的奇景，是由无数石块和冰块组成。1980 年“旅行者”探测器的近距照片好像是密纹唱片一样。环宽约 6 万千米，厚仅一两千米。



**天王星**

由“旅行者二号”探测器拍回的照片中右边天王星在中间和天卫Ⅴ（上）、天卫Ⅰ（下），以及左边从上往下的天卫Ⅲ、天卫Ⅳ、天卫Ⅱ。天王星共有21颗卫星和一些环圈。



**海王星近照**

过去用大望远镜也只能把天王星和海王星看成亮星，但 1989 年“旅行者二号”拍下了海王星这样清楚的照片。在它多风暴的大气中有一个地球大小的黑斑，还有快速奔驰的几缕白云。黑斑自转一周约 18 小时。




**近些年来的著名彗星**
1976年的威斯特彗星（左上）；
1986年的哈雷彗星（右上）；
1997年的海尔波普彗星（左下）；
2002年池谷一张（大庆）彗星与仙女座星系（右下）。








**彗木相撞留影**

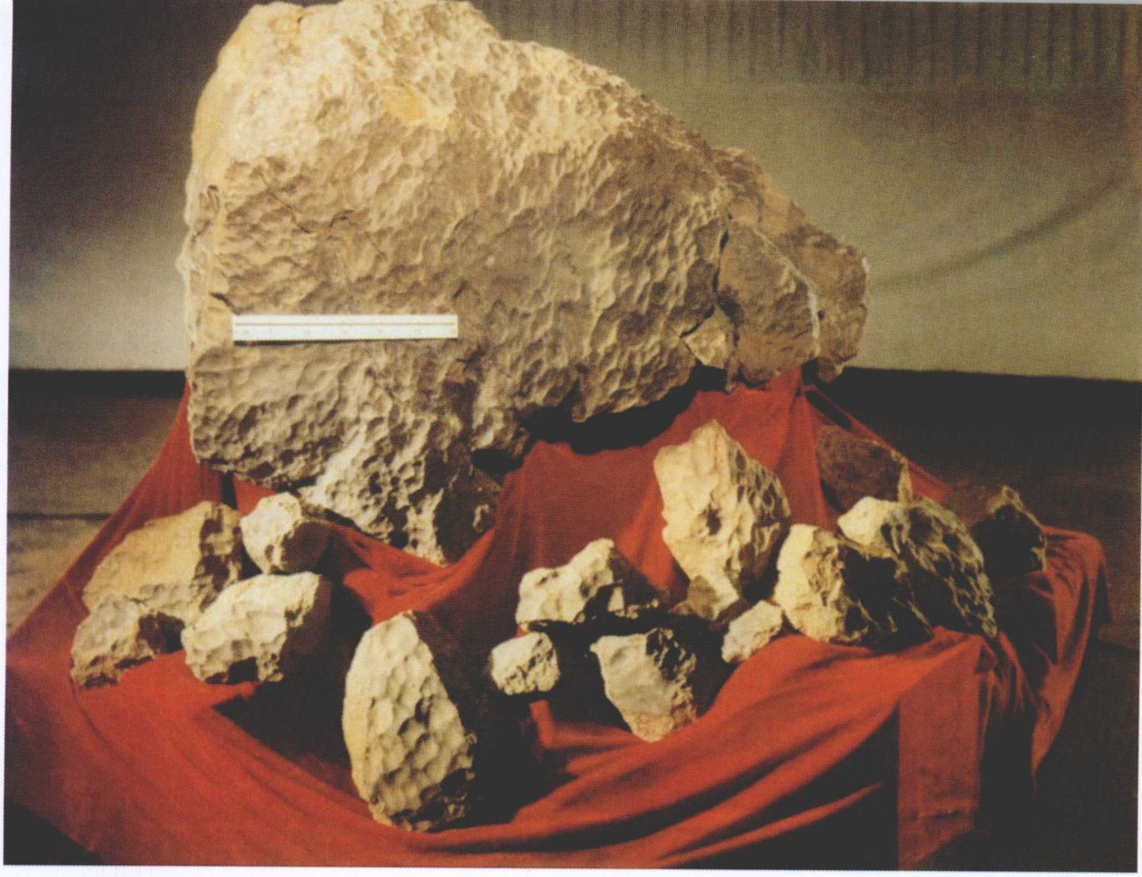
1994年苏一列9号彗星被木星的强大引力撕裂成块（上图为部分照片）。

在7月15—22日之间彗星相继和木星相撞，这是人类第一次看到天体相撞实况。据说相撞的总能量相当于若干亿颗原子弹爆炸！相撞时拍到的巨大火球，可以和地球大小相比！（下图）



**浏览暴雨**

1883年11月13日，在美国波士顿上空出现的狮子座流星暴雨，盛况惊人。（木板画）



**天外来客**

世界最大的吉林1号陨石（上图），重1 770千克。1967年3月8日随陨石雨陨落在吉林。

美国亚利桑那州的陨石坑（下图），直径1 265米，可能是几万年前陨石或小行星撞击地球的遗迹。





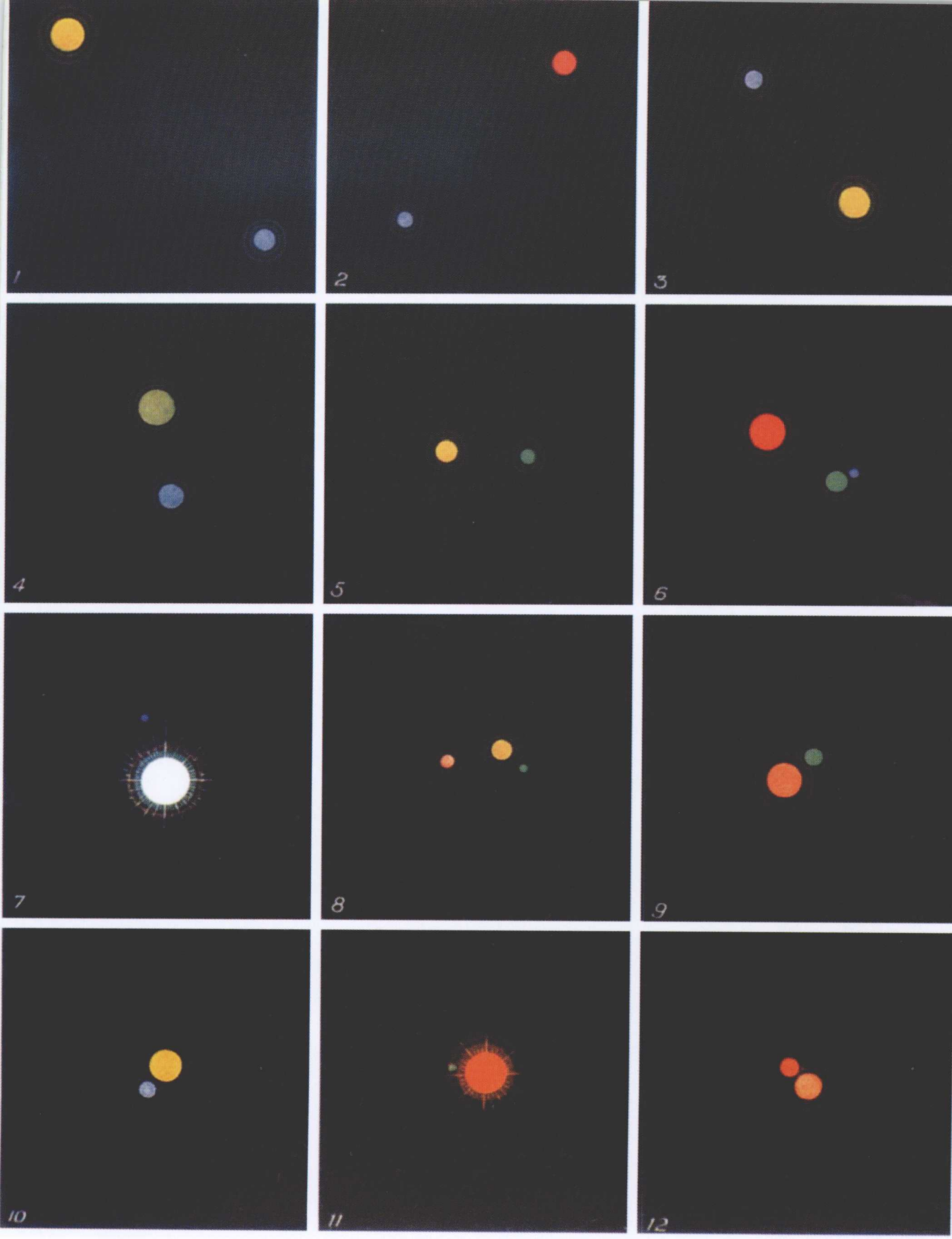
**夏夜银河与牛郎织女星**

盛夏季节，银河高悬，牛郎星（牵牛星）位于银河东岸（左中亮星）和织女星（右上方亮星）遥相呼应，正如唐诗中“卧看牵牛织女星”名句所指。出现在南方地平线上的是银河最浑煌的部分，南斗六星就在这里（银河最亮处的左上方）。



**灿烂的南天星空**

猎户星座高挂天空（右上），星座的左下为全天最亮的星是天狼星（大犬座），再往下是全天第二亮星即船尾座的老人星。疏淡的银河顺流向南，左边贴近地平处星南十字星座。在我国大部分地区只能看到老人星和它上面的星空。在海南一带才能一见南十字座的全貌。



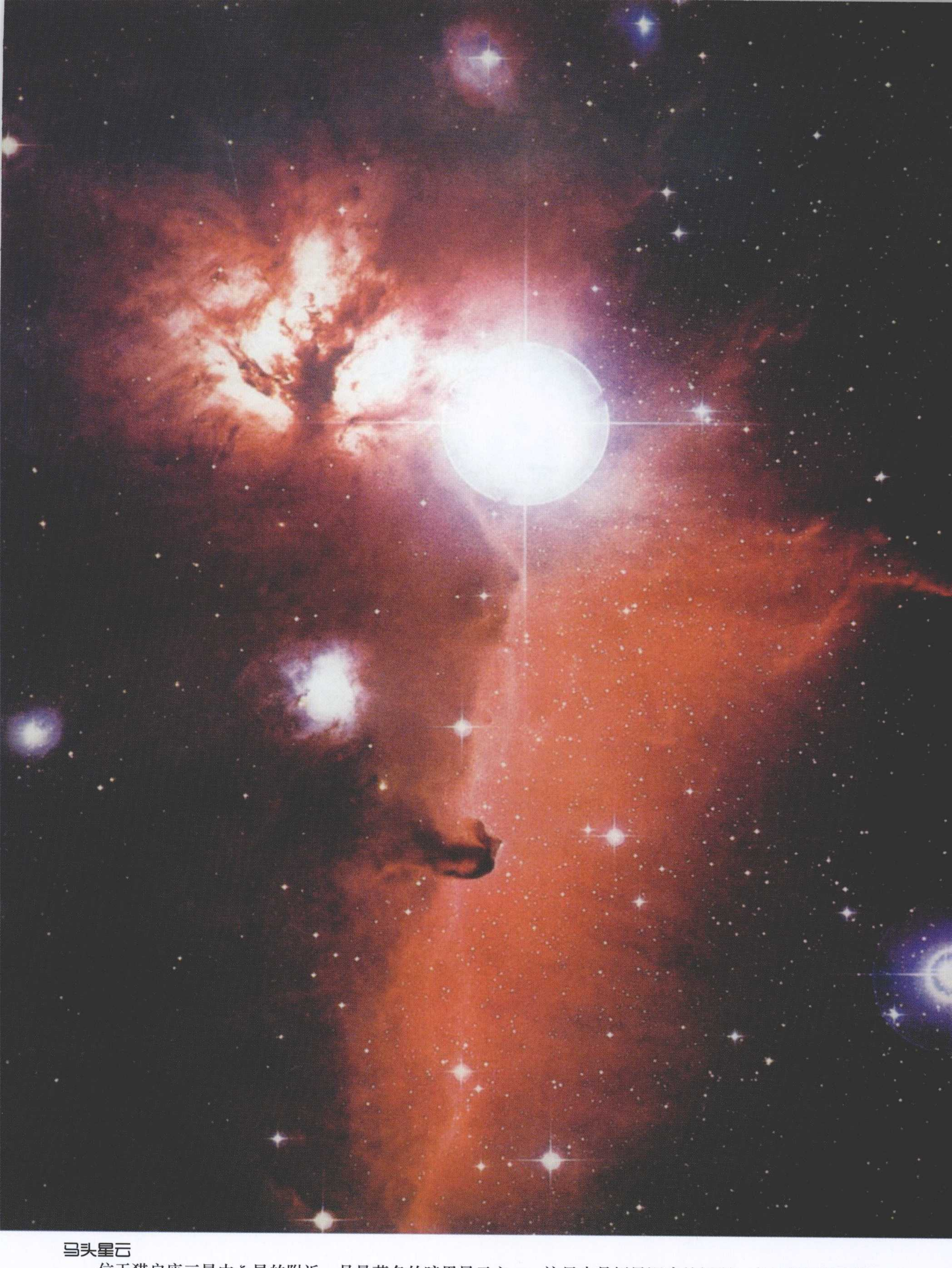

**美丽的双星**

从望远镜中可以看到许多美丽的双星（或三重星……），从颜色对比上显示出双星之美：（1）天鹅座 β，（2）英仙座 η，（3）大熊座 α，（4）天蝎座 β，（5）海豚座 γ，（6）仙女座 γ，（7）猎户座 β，（8）仙后座 ι，（9）武仙座 α，（10）牧夫座 ε，（11）天蝎座 α，（12）牧夫座 ξ。



**猎户座大星云（M42）**

这是最著名的气体星云之一，在猎户座中三星下方，肉眼依稀可见。它也是天文爱好者最爱观测和拍照的天体。它是由气体氢和尘埃组成，受附近恒星的激发而发光。在彩色照片中，猎户座大星云的色彩特别美丽而鲜艳。这里也是孕育恒星的场所，距离为 1 500 光年。星云的宽度约为太阳系直径的数万倍。



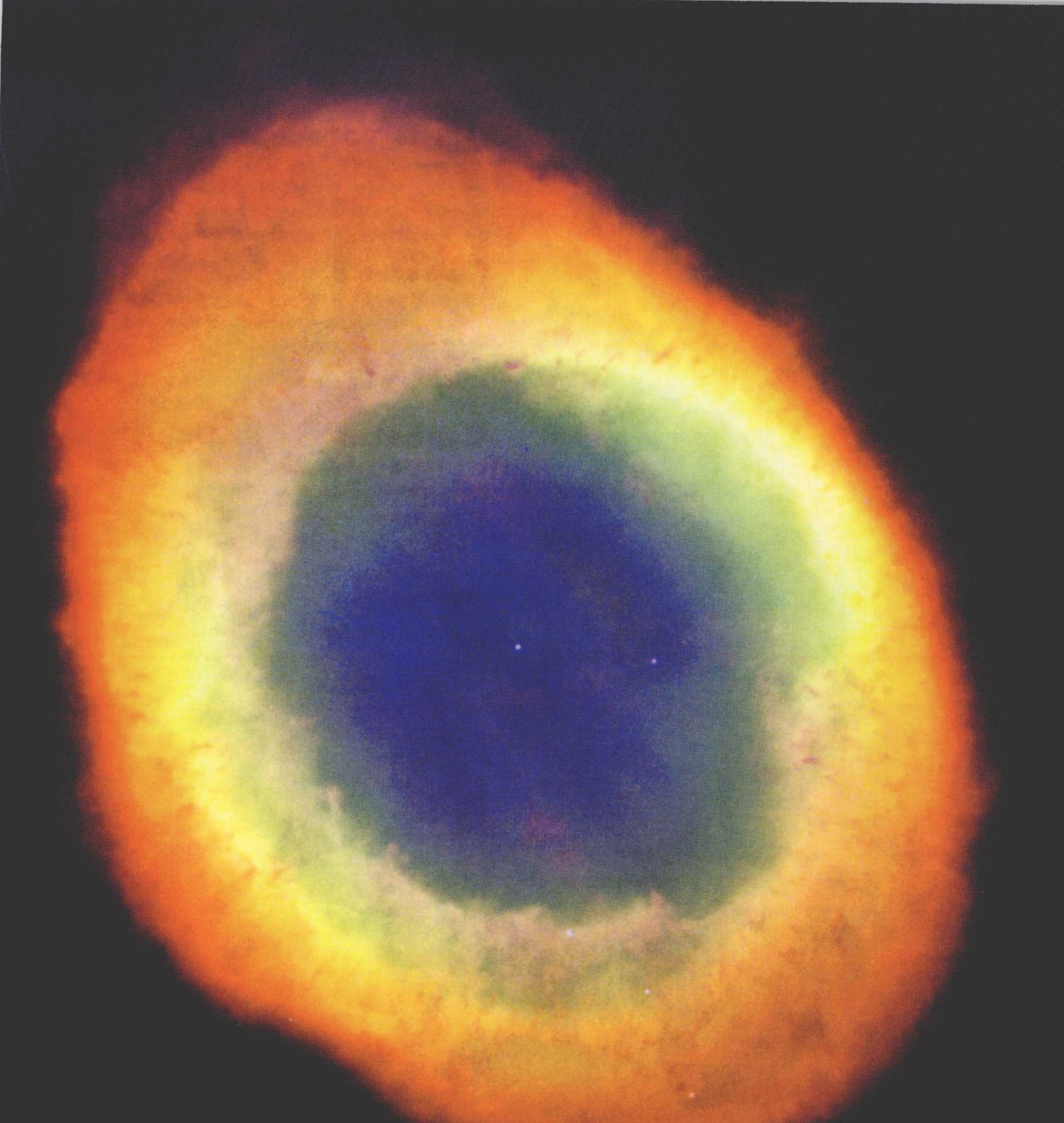
**马头星云**

位于猎户座三星中ξ星的附近，是最著名的暗黑星云之一。这里也是恒星诞生的场所。在红色的明亮弥漫星云背景上不发光的物质呈现出马头形状，因此而得名。这些照片也是人们最喜爱的天文照片之一。明亮的恒星，泛红色的弥漫星云衬托出马头星云的美景。星云的距离为 1 300 光年。马头直径约 1 光年。



**螺旋星云**

距离 450 光年，是行星状星云中最大和最近的。这类星云都有中心的恒星和扩散的环形气体。



**天琴座环状星云M57**

最著名的行星状星云，位于天琴座中织女星附近，距离 2 000 光年。中心的白矮星放射出均匀而对称的光，使星云的姿态完美对称。不久前由直径 8 米的红外望远镜曾捕摄到了这个星云物质向外扩散的晕环，这是以前所不知道的。



**奇特的沙漏星云MyCn18**

位于南三角座的行星状星云，距离 8 000 光年，形状好像古代用沙子在瓶中徐徐下漏而计时的工具，在天体中十分罕见。有人推测形成的过程是恒星喷射出的物质，因气体的速度在赤道方向和两极方向不同而造成的。(哈勃空间望远镜拍摄)



**超新星1987A**

这是人类在将近400年来首次发现了肉眼可以看到的超新星，出现在大麦哲伦星云中，成为20世纪中最重大的天文发现之一。它发出强大的紫外射线和X射线，成为天体物理学中重要的研究对象。该图是这颗超新星爆发前（上图）和爆发后（下图）的照片。



波江座形态完美的旋涡星系NGC1232

直径 20 万光年，比我们的银河系约大一倍，距离有 1 亿光年之远。在中心部分有若干类似太阳的中老年恒星，而在旋臂上有很多诞生不久、发蓝光的星。



**哈勃望远镜的深空探索**

1995 年底哈勃空间望远镜在北斗七星中的一个极小天区拍下了这幅深空探索照片，可以看到有 3 000 多个星系，距离有 100 多亿光年之远。这可以说是人类向深远宇宙空间探索的划时代图像。人类对宇宙的探索将深入，深入，再深入，这也是为了去寻找那些最早期的诞生于 150 亿光年前的星系，以便了解宇宙演化的全过程。



**飞翔在太空中的哈勃空间望远镜**

背景照片为天龙星座中的旋涡星系 NGC10214，距离约 4.2 亿光年，它的尾部长约 28 万光年。哈勃空间望远镜 2002 年 3 月 7 日拍摄，露光 8 小时。

## 《大众天文学》在中国(新版代序)

《大众天文学》是一部世界名著,由法国天文学家、世界著名的科普作家卡米伊·弗拉马里翁(Camille Flammarion,1842—1925)创作,1880 年在法国出版,成为传遍全球、轰动一时的科普读物,曾译成许多文字在国外出版。原书也一再重印。

作者是一位博学多才、口若悬河的天文科普奇才,他出口成章、妙语连珠的天文科普演讲拥有大量听众,每办讲座都是座无虚席,男女老少无不听得如醉如痴。因此他的书也是令人争相阅读,爱不释手。

1925 年弗翁逝世,但他的著作仍然畅销。20 世纪 20 年代,中央观象台首任台长高鲁博士就想把《大众天文学》译成中文,但未能实现。高鲁对弗翁的天文普及贡献倍加赞扬,无限崇拜,言必称弗翁,因此人们常戏称高鲁是中国的弗拉马里翁。高鲁于 1928 年任中央研究院天文研究所第一任所长,开始筹建南京紫金山天文台,不久又出任中国驻法公使,因此《大众天文学》中文翻译的事就此搁浅。

1954 年中国第一座天文馆——北京天文馆开始筹建,1955 年正式动工,就在这个时候,《大众天文学》的新版问世,应弗拉马里翁夫人的要求,许多位法国著名天文学家在保存原有风格的基础上用大量天文学的新发现、新知识对本书加以修订。新版的《大众天文学》又一次风行全球,英国首先于 1964 年出版了该书新版的英译本,书名为 *The Flammarion Book of Astronomy*(《弗拉马里翁的天文学书》)。

1957 年北京天文馆建成开幕,中国的天文科普工作进入了一个崭新的阶段,特别是人造地球卫星发射成功后,人们对天文知识的需要和兴趣空前高涨。这时,我国著名天文学家,上海天文台台长李珩教授除了对北京天文馆的建成表示了极大的支持和祝贺外,还表示愿意把《大众天文学》新版译成中文出版,用以纪念北京天文馆的诞生,并把弗翁成功的天文学科普经验传播到中国来。新版《大众天文学》精装为一巨册,洋洋百万字,图片近

千幅。把这样一部世界名著译介到中国来谈何容易，但是李珩教授毅然挑起这副重担，于20世纪60年代初开始翻译这部巨著，他告诉我说为了早日译成，他牺牲了许多娱乐休闲，集中力量，投入全部身心于繁重而愉快的工作中，他仿佛面对弗翁听他在演讲，看他在著述。当时李珩教授就约我担任他的助手，译完之后由我根据英译本整理、校阅，选编一些新的彩色插图。我知道这是一项意义十分重大的工作，我只能尽力而为。全部译稿约两千多页，在我家中书桌上摆了一年多的时间，才算完成。因为我在北京天文馆的工作十分繁杂，时间紧迫，我往往编校《大众天文学》译稿到深夜。当时我谢绝了许多约稿，连《十万个为什么》的约稿也不敢答应，因为《大众天文学》这本书对天文科普工作者、对天文馆工作者、对广大天文爱好者，甚至对一些天文教育和研究工作者都会是有价值的读物，因此一定要集中精力完成这个任务。在这个流水作业中，李珩教授译好一部分就从上海寄到北京，我编校完一部分后又送给科学出版社的夏墨英责任编辑，由她最后整理发排，大约在1964年底或1965年初正式付印。全书分三个分册出版。第一分册为《地球・月球》，第二分册为《太阳・行星世界・彗星・流星与陨星》，第三分册为《恒星宇宙・天文仪器》。科学出版社为了该书的出版曾做了大量宣传和征订工作。第一、二两个分册于1965年出版问世，得到好评与欢迎。不久，“文化大革命”开始，本书像许多其他科普图书一样受到批判，被认为是宣扬资本主义文化的毒草。第三分册《恒星宇宙・天文仪器》在1966年已经印好出版，但被封杀在仓库里禁止发行。直到20世纪70年代“文革”后期才打上“限国内发行”的字样，在有条件的情况下出售，致使许多读者未能购得第三分册而感到遗憾。“文革”之后，许多读者要求该书重印出售，但纸型已毁，无能为力，因此《大众天文学》的三册一套的完整本竟成了稀有之物。

1978年举行的科学大会为我们送来了科学的春天，在译者李珩教授的建议下，科学出版社同意重新出版《大众天文学》，但考虑到该书原版是1955年出版，事隔近30年，在此期间天文学有了很大的发展，决定请李珩教授全面加以补充修订。补充资料已写就约10万字，新增插图约百幅，时已进入80年代，又因种种原因，《大众天文学》的新版只得搁浅。在重新增补修订并商谈出版本书的过程中，我始终和李珩教授与出版社保持密切联系，参与其事。最后，李珩教授只能将增补资料全部交我保存，以待可能的出版机会。未曾想到在21世纪来临之际，《大众天文学》修订版的出版又出现了新机遇。这里还需再插入一段往事。

法文版《大众天文学》在1985年又出版了全新的版本，书名 *Astronomie Flammarion*（《弗拉马里翁天文学》）。由法国的十多位天文学家协力修订，全面刷新，全书共1 056页，

分一、二两巨册，插图约1 500幅，全部彩色印刷。1987年，北京图书馆入藏这个新版本，我立即将全部目录及序言等资料复印寄给李珩教授，但面对这个巨大的版本，已临暮年的他只能赞叹而无能为力，而且当时已经没有出版该书新版的任何可能。李珩教授于1989年逝世。

2001年，广西师范大学出版社了解到《大众天文学》的历史情况后，并征得李珩之女李晓玉教授的同意，决定启动重版这一科普巨著的工程。2002年新年过后，李晓玉教授来北京参加学术会议，这是我们多年来的重逢，当时就和广西师范大学出版社的领导共同座谈了有关《大众天文学》修订版的出版事宜，达成了一致的意见：在科学出版社1965—1966年出版的中译本的基础上，加入李珩教授为该书编写的增补材料(见附录部分)，再选编许多精美的彩色天文图片，修订版分上下两册出版，争取在2002年内问世。其中，图版工作仍由我来负责，除了对原书插图中少数图片(如原中译本153页的日食路径图改为21世纪头20年的图)外一律照排。彩色版图完全更新，从原有的不到20页扩充为80页。最后的星图部分用李元、李兆星编译的以2000.0年为历元的全天星图代替过时的旧图。彩图编选的原则是以能反映天文学最新发现和成就，图片更精美，更具有代表性，不但增加了科学内涵，可以跟上时代的步伐，而且有一定欣赏价值，引起读者对天文学的兴趣。

这一次2013年的再版是由李晓玉教授和我共同商定的，由北京大学出版社出版。为了提高本版次的质量，北大出版社做了大量细致的工作，特别要提到刘维副编审细读全书，提出了若干值得改进的部分。还有一位资深天文爱好者从加拿大寄来一些应加的勘误之处，对这些我和责编根据法英中三个版本进行了认真的校对和讨论达成共识。

这次还特别邀请了天文学界的老前辈90高龄的王绶琯院士和中国科普作家协会副理事长卞毓麟研究员等对本书加以点评和推荐。在此李晓玉教授和我都表示诚挚的感谢。此外，这次的版本较前加大了字号，阅读更加方便，最后还增加了卞毓麟研究员最新编撰的《弗拉马里翁传》，使读者对弗翁有进一步的了解。

当《大众天文学》中译本修订版问世之时，我们对李珩教授表示深深地尊敬与怀念。

中国科普研究所研究员　李　元

2013年春于北京

# 译者序言

卡米伊·弗拉马里翁是法国将天文知识传授给广大读者的最有权威的一位科学家兼诗人。他所著的《大众天文学》一书，自1880年出版以来，至1925年作者逝世时为止，在法国就已印了13万册之多，并被翻译成了十几种文字，对各国天文事业的发展影响很大，实为一部很受欢迎的科学普及经典名著。许多人因为读了这本书而热爱天文学，成为天文学家，如已故的法国太阳和行星物理学家李奥(Lyot)，就是一个很鲜明的例子。

本书的特点是:作者以文学的笔墨、生动的语言，对奇妙的宇宙进行了描绘。他为本书定下的座右铭是“科学知识应该大众化，而不应该庸俗化”。

这本重新改写的1955年的新版本〔迄至1962年，新版本已发行了16.5万册，成为一本畅销书〕，是根据原书的结构，由弗拉马里翁夫人、巴黎天文台台长丹戎先生以及法国几位天文学家改写而成的，补充介绍了近20年来科学的惊人发展和宇宙伟大奇妙的地方，使改写本成为既新颖而又完善的天文学典籍。

本书包括地球，月亮，太阳，行星世界，彗星、流星和陨星，恒星宇宙以及天文仪器等七篇。

第一篇详细讨论了地球的十种运动，从简单的自转以至它的轨道受到别的行星的影响所引起的摄动。又叙述了地球的起源和关于地质学与古生物学的简要知识，这是在这样一本书中所必须提到的。

第二篇在叙述月亮的大小、远近和运动之外，还详细地阐述了它的物理性质和表面状况，并谈到了日食、月食的原理。

第三篇叙述了关于太阳的最新知识，如太阳内部原子核反应和太阳的无线电波。

第四篇对每颗行星作了详尽的叙述，并附有许多精美的图片，在火星一节中就有五十多幅。

第五篇叙述了彗星、流星和陨星，其中对彗星的历史记载有很详细的叙述，可供历史学家参考。

第六篇“恒星宇宙”，对现代天体物理学上的重要发现，如射电天文学、银河系旋涡臂的结构等都有适当的叙述。

最后一篇简单地叙述了天文仪器，使读者明了天文学工作者所用的工具，和他们怎样依靠这些精密的仪器取得以上所述的惊人知识。

本书中有几节表现了作者和改编者对于宇宙的神秘主义和唯心主义的思想，这些大多是属于节外生枝的文学笔墨，即使略去，对本书所要介绍的天文知识并没有什么损害，所以我们已将这些议论删掉。译文中可能还保留一些不合辩证唯物主义观点的论调，希望读者以批判的眼光去阅读。本书虽有这些缺点，但内容丰富多彩，文笔明快隽永，仍不失为一部世界名著。我们把它译成中文出版，希望对我国天文事业的发展起一定作用，使读者因读本书而热爱天文学，进而研究天文学。本书译成之后，承北京天文馆李元同志根据他普及天文知识的经验，仔细校阅与注释，并更换了书中的某些插画，译者在此表示感谢。

本书第一版是根据 1955 年法文原本翻译的，距今已 20 年了。可是这短暂的 20 年在天文学史上是非同小可的一段时间。事实上，在这一时间里，天文学表现出突飞猛进的惊人发展的趋势，在科学中当是首屈一指的。有人甚至认为这一发展可以和伽利略以后 300 年间积累的知识相比拟。

这种惊人的进步，无疑是得到了其他科学与工程技术的发明与发现的帮助。例如原子工程的发展证实了天文工作者长期的揣度：轻原子核聚变为重原子核并释放出巨大而足够的能量，这足以说明太阳和恒星在几十亿年时间内所辐射的光和热的来源。对这种反应中的聚变为氦、氢原子核的知识了解得如此确切，致使天文工作者根据计算，可以“窥见”恒星的内部结构。因而他们可以追溯恒星的演化历程：从其诞生以前收缩中的气体与尘埃，一直经过其发光而且稳定的生命历程，以至因爆炸（超新星）或缓慢衰歇而成为星际空间的“灰烬”。最后，人们虽然生活在一个常为云雾环绕的行星上，可是正如美国天文学家爱丁顿所说的，人们可用手中的纸笔推算出恒星的演化历程。

随着电子工业的不断发展，我们可以制成强大的射电发射器与灵敏的接收器。通信专家认识太阳、月亮、行星、星系以及其他许多类型的天体，多是依靠射电源发出细微的嗞嗞声以至爆发式的噪扰。无线电天线和接收器愈加改进，这些奇怪的射电噪声愈引起我们的注意。这些射电源里有名叫“类星体”的蓝色光点，倾泻出大量的射电能量，还有更神

秘的“脉冲星”，发出异常有规则的射电能量，致使有些天文工作者起初认为是太阳系外的行星上的生物向我们发出的呼唤。可是不久，天文工作者便能证认它们是年老的、迅速自转的、高密度的中子星所发出的电波。

但是天文工作者感觉到有智慧的生物可能存在于宇宙里，于是向四面八方寻找进入地球大气的一种可以连续记录的无线电波。可是，由于到处都有射电噪声与天电的干扰，人们因而没有发现可以理解的信息。因此这种企图星际通信的计划，以无结果而暂告结束。

工业研究与工程实践，促使我们在光学望远镜的性能研究上作出长足的进步。熔石英与特殊陶瓷为天文工作者提供了比从前用来铸造反光望远镜玻璃的更为有效的代替品；这些新产品超过从前被认为是最好的玻璃，在冷热变化的极端情况下，仍然保持极端稳定的性能。另一方面，巨型望远镜的装置、控制、自动导星与附件的不断改进和使用，更增进光学望远镜的性能。这些附件中有一种名叫“光电像管”的，它以电子学的方法倍增星光的强度，从而提高了望远镜的观察效率。新的探测器也使记录红外辐射成为可能。

射电频谱的一些波段和可见光谱虽然能够透过地球的大气，并且紫外与红外波段也稍微能透过，但其他广大区域的电磁波却不能透过。利用现代的火箭，科学工作者将他们的仪器送到大气之外，而在外空里研究在地面不能接收到的紫外线和 X 射线的波段。结果是令人惊奇的，因为由此发现了太阳和许多天体是发射很强紫外辐射的天体。空间探索的计划为天文研究开辟了无限广阔的新颖前景。

轨道天文台用多种波长描绘了宇宙的新面貌，例如红外星图和银河系远方的 X 射线源的发现。而且宇宙飞船的效能日益增加之时，它们便可离开地球，漫游于太阳系的空间里。于是，天文工作者可以从月球和其他行星得到第一手的资料。人们从来没有看见过月球的背面，而地面望远镜已经拍摄的只是月球的模糊不清的形象。远航至金星附近的飞船证实了我们所预料的结果：云雾笼罩的金星表面的结构与高温的形态。从火星旁边飞过的探测器所送回的照片，表明它表面上有不少的坑穴。人们已经实现了登上月球的梦想，并带回月面的地质标本供分析。这一切宇航计划都需要特殊的仪器装置，例如照相机须能自动拍照与显影而且须将照片上的记录转化为脉冲信号，使地面的射电望远镜能够接收到这些信号，并且利用电子计算机将这些脉冲信号以高分辨率转换成点画，从而复现飞船上所拍得的形象。

照相软片大有改进，特别是将特殊的染料加入乳胶，增加了软片对于红外波段的灵敏度。我们还可利用其他科学实验室的许多新方法对陨星和从月球上采回的标本作化学分

析，于是可以认识这些地外物体的性质与演变。

高速数字计算机使天文计算发生了革命性的变化。电子计算机在几秒钟内所作的计算，是从前天文工作者经年累月所不能完成的，而且计算的精确度还大有提高。假使没有这些计算上的便利，宇航计划便不能完成。计算机能校核并指令飞船，从飞升至降落的一切行动中的每个细节都是如此。同时，计算机对多级火箭的设计与运送也起了非常重要的作用。

计算机在天文实验里也成了必要的仪器。巨型射电望远镜将脉冲式的射电能量定向地射入空间，然后再从月球或其他行星表面反射回来。返回的信号虽很微弱，但接收器却可以将收得的数据送入计算机去分析。雷达的高度奇妙的应用为我们提供了有关太阳系里的距离，行星的大小、自转及其表面的特点等有价值的信息。激光的内射可以测定月球的距离，精度很高，误差只有 30 厘米。

这些研究对时间的测量大有改进。50 年前，天文工作者将时间测量到十分之一或百分之一秒，已经深感满意。今天科学工作者却能测量到一纳秒（$10^{-9}$秒）。利用原子或分子的振荡频率制成高精度的测时工具，比从前以地球的自转周期作为测时标准的测时方法的精确度要高得令人难以想象。

这些便是近 20 年来天文学上爆炸性的进展的几个方面，也是我们将要比较详细地为读者报道在本书改订本里的一些课题，希望读者能从这里得以认识宇宙的伟大，壮丽与和谐，而且可以根据现代天文学的启示，勤奋地进行科学探索，不断取得新的科研成果。

李　珩

1985 年于上海天文台

# 原出版说明

弗拉马里翁常常喜欢说:“科学知识应该大众化,而不应该庸俗化。”他谨守这个原则写成了这本书。此书出版以来获得了巨大的成功,它不但向大众传播天文知识,而且还使许多人因此从事天文学的研究工作。

但是这本不能替代的著作,到了今天必须重新改编。我们保留了原书的风格,只加入了近年来科学的惊人发现,特别是关于恒星宇宙的伟大成就,这些方面即使如弗拉马里翁这样富有想象力的人,也是从来没有想到的。值得庆幸的是,今天在对大众的科学教育方面,由于有许多照相图片的说明,使得可以对科学事实作直观的了解,对伟大的现象作诗意的欣赏。

弗拉马里翁夫人秉承了她丈夫的遗志,主编这本《大众天文学》的新版本,襄助的是巴黎天文台台长丹戎(André Danjon)先生。本书第一、二、四等三篇以及第三篇的前两章是丹戎先生改编的,其中关于月亮和行星的物理几节又得到默东(Meudon)天文台多尔菲斯(Audouin Dollfus)先生的协助。第三篇的第三章至十一章叙述太阳的部分是法国国立中央研究院研究员米夏尔(Raymond Michard)先生所写的,他以太阳分光的研究工作闻名于世。

巴黎天文台天文学家巴耳代(Fernand Baldet)先生,早年在弗拉马里翁天文台所著的关于彗星的研究,已经成了权威的作品。他重写了关于彗星和流星的第五篇。

马赛天文台台长费伦巴赫(Charles Fehrenbach)先生在恒星天文学上有很大的贡献,他负责编写了第六篇恒星宇宙。

巴黎天文台天文学家库德尔(Andr Couder)院士曾经制造过几座巨型望远镜。本书插图中许多天体照片,便是用这些望远镜拍摄的。他特地为天文爱好者编写了最后一章,叙述天文仪器和它们的使用方法。

1955 年

# 弗拉马里翁传略

弗拉马里翁(Nicolas Camille Flammarion)称得上是最广为世人所知的法国现代天文学家。1842年2月26日生于法国上马恩省的蒙蒂尼勒鲁瓦;1925年6月3日卒于法国奥尔热河畔儒维西。

弗拉马里翁出生前,其父亲已由务农转为开设小商店。在全家4个孩子中,弗拉马里翁排行最小。父母曾打算让他成为一名教士,并让他在一所教会学校接受了初等教育。然而,甚至在孩提时代,弗拉马里翁的兴趣就扩展到了各种科学领域,尤其是被天文学的魅力深深吸引。他在5岁和9岁时,曾先后观看过1847年10月9日和1851年7月28日发生的日食现象。他11岁时就进行了天文和气象观测。在他的杰作《大众天文学》一书中,刊有一幅1853年彗星的素描画,那是弗拉马里翁在11岁时的作品。关于这幅画,他写道:"一个小孩子觉得一颗普通的彗星非常神奇,它第一次使他对这些天文奇观有了概念;这便是1853年的彗星如何震撼了我,如果允许我做一点个人回忆的话,那是在当年的8月,我从林贡古城的壁垒顶上观看它。在夏天温和的暮色中,这颗彗星闪耀着宁静的光芒。我甚至为这一景象画了一幅素描,却从未想到过这幅微不足道的绘画将来竟会有公开发表的荣耀。"

1856年,弗拉马里翁的双亲因负重债举家移居巴黎,他本人也辍学当了一名雕刻徒工。他在工余到夜校学习英语、代数学和几何学,并日益坚定地放弃了成为教士的念头。1858年,一名医生在给16岁的弗拉马里翁治病之际,无意中发现了这位少年撰写的一大包题为《宇宙之演化》的长篇手稿。医生对此留下了极为深刻的印象,便将他推荐给当时的巴黎天文台台长勒威耶(Urbain Jean Joseph Le Verrier)。几天之后,弗拉马里翁就到巴黎天文台以见习天文学家之衔就任计算员了。3年后,他通过国家考试,获得文理两科的学士学位。

勒威耶对弗拉马里翁颇为赏识，可是做这位台长的助手却不是舒服的差使。很久以后，弗拉马里翁说过，勒威耶"如果具有更和蔼可亲的性格，并且不那么喜欢样样都管的话，那么他的一生就会对科学和人文更加有用了"。许多员工都难以忍受这位台长专制暴躁的作风，弗拉马里翁也不例外。因此，他于 1862 年离开了巴黎天文台，到巴黎经度局任计算员，并在索邦大学听课。

与此同时，弗拉马里翁的天文写作也硕果渐丰。他的第一本书《可居住世界的众多性》于 1861 年出版，初次显示了他进行科学普及的杰出才能和优美的文学风格。不久，他就被任命为《宇宙》杂志的科学编辑。往后十余年中，弗拉马里翁把许多时间花在写作和演讲上，但他还是想方设法挤时间做各种科学实验。他一度对地球大气问题深感兴趣，为此曾多次乘坐探测气球升空，以便研究高层大气的状况。他还写了一本题为《地球大气层》的书。

弗拉马里翁初期的天文研究工作与双星有关，于 1871 年写了有关这一主题的首篇论文。接下来的几年中，他计算了大量双星的轨道，并于 1878 年完成一份光学双星表，呈送科学院。1882 年，弗拉马里翁创办了科普杂志《天文学》。1887 年，他创建了法国天文学会，并担任首任会长。1894 年《天文学》杂志更名为《天文学和法国天文学会会刊》。1891 年，法国开始出版《弗拉马里翁年鉴》，直至 1964 年。

弗拉马里翁的一些初步研究工作，往往预示着日后的重大进展。例如，他在 19 世纪 70 年代探索"星流"的工作就意义深远。天文史家们认为，要是他能够坚持这些研究，就有可能大大超前于博斯(Lewis Boss)、爱丁顿(Arthur Stanley Eddington)、赫兹普龙(Ejnar Hertzsprung)以及其他人的工作。但是，他那过于活跃的大脑显然使他难以长期固守任何既定的研究路线。

弗拉马里翁的研究兴趣广泛，科学著述众多，涉及火山学、大气电学、气候学等许多题材，而他特别热衷于研究的课题则是火星。他是 19 世纪的火星研究大家。1876 年，弗拉马里翁著的《天上的地球》一书中，以各家观测者的素描为基础综合制成一份火星图，美国天文学家洛厄尔(Percival Lowell)认为它属于具有历史价值的火星图之列。书中刊出了他于 1873 年 6 月 29 日晚观测火星时亲手描绘的火星"沙海"图，这比贝尔(Wilhelm Beer)和梅德勒(Johann Heinrich Mädler)于 1830 年绘制的著名火星图复杂得多。嗣后，天文学家们开始发现火星上斑块的形态和颜色随季节不同而有明显变化。1877 年火星大冲期间，弗拉马里翁首先发现火星上某些区域的明暗程度和形状有所变化，并指出在相隔仅一两个月拍摄的照片上，已能察觉这种现象。在小望远镜中显现为均匀暗斑的"海"，在大

望远镜中却呈现出无数微小的不规则黑点。由于此类黑点有些变深有些变淡，才使“海”的轮廓或色调有所改变。

1876年至1882年，弗拉马里翁任巴黎天文台的研究员。该台台长勒威耶曾于1870年在公众要求下被免职，后于1872年再度复职，1877年与世长辞。所以，弗拉马里翁在勒威耶手下工作的时间并不长。1883年，弗拉马里翁得到一位法国富翁的资助，在巴黎附近的奥尔热河畔儒维西镇建立了一座私人天文台，即儒维西的弗拉马里翁天文台。他在此台工作40多年，发表了100余篇观测和研究报告。他利用该台的仪器，对火星作了大量观测，并全身心地投入了发端于斯基亚帕雷利的火星运河之争。他坚定地站在火星上存在运河和智慧生命——甚至比地球上的生命更高级——这一边。同时，他还报道探测到月球上有一个环形山发生了变化，并坚决主张那是因为有植物在生长的缘故。事实上，他热衷于相信所有的世界都有活着的生物居住。1892年，弗拉马里翁出版了《火星这颗行星》一书。一位英国作者认为，这部书将是“未来多年中有关火星的标准著作”，只可惜它未被译成英文。但是，正如科学史上经常发生的那样，这部作品不久就被后来者洛厄尔的著作超越了。1909年，弗拉马里翁著的《火星及其宜居条件》一书出版。

弗拉马里翁具有广博的知识、强烈的好奇心以及丰富的想象力，所以看来并不奇怪，这使他在晚年对所谓“灵学”问题很感兴趣。他做过精细的科学实验，并敢于揭露这个领域中的骗局和谎言。

不过，弗拉马里翁最伟大的贡献是在科学普及方面。他为法国许多报刊撰写了大量普及天文学的文章。弗拉马里翁从1866年开始，就在巴黎作天文学讲演；此后，法国的其他城市以及一些欧洲国家的首都——如布鲁塞尔、日内瓦、罗马等，也竞相邀请他去演讲。他的每次演讲总是座无虚席，他使听众入迷的魔力，可以与英国的小说家狄更斯(Charles Dickens)媲美。

毫无疑问，弗拉马里翁最为成功、最受大众欢迎的天文普及著作就是1879年首次出版的《大众天文学》。直到他去世时的1925年，该书已在法国再版20多次。1882年，他因为此书而荣获巴黎科学院颁发的蒙蒂尤奖。许多天文学家皆因青年时代读了这部著作而走上了探索宇宙奥秘之途，著名的法国天文学家李奥(Bernard Lyot)就是其中的佼佼者。《大众天文学》于1894年被译成英文，后来又译成西、意、俄、中等十多种文字，堪称读者遍天下。20世纪的美国科普巨匠阿西莫夫(Isaac Asimov)曾称赞《大众天文学》：“在19世纪的同类著述中，这乃是一部无出其右的杰作。”

弗拉马里翁是一位竭诚将天文知识传授给社会公众的权威性的天文学家。他热爱生

活、思维敏锐，在文学上也取得了可观的成就。他写的小说，背景大多体现了科学为公众服务。弗拉马里翁的座右铭是："科学知识应该大众化，而不应该庸俗化。"

诚哉斯言！

中国科普作家协会副理事长　卞毓麟

2013年春于上海

# 目　录

## 上册

## 第三篇 太 阳



## 第四篇 行星世界

# 目　录

## 下　册

### 第五篇　彗星、流星与陨星



### 第六篇　恒星宇宙

## 第七篇　天文仪器



## 附　录

# 第一篇 地 球

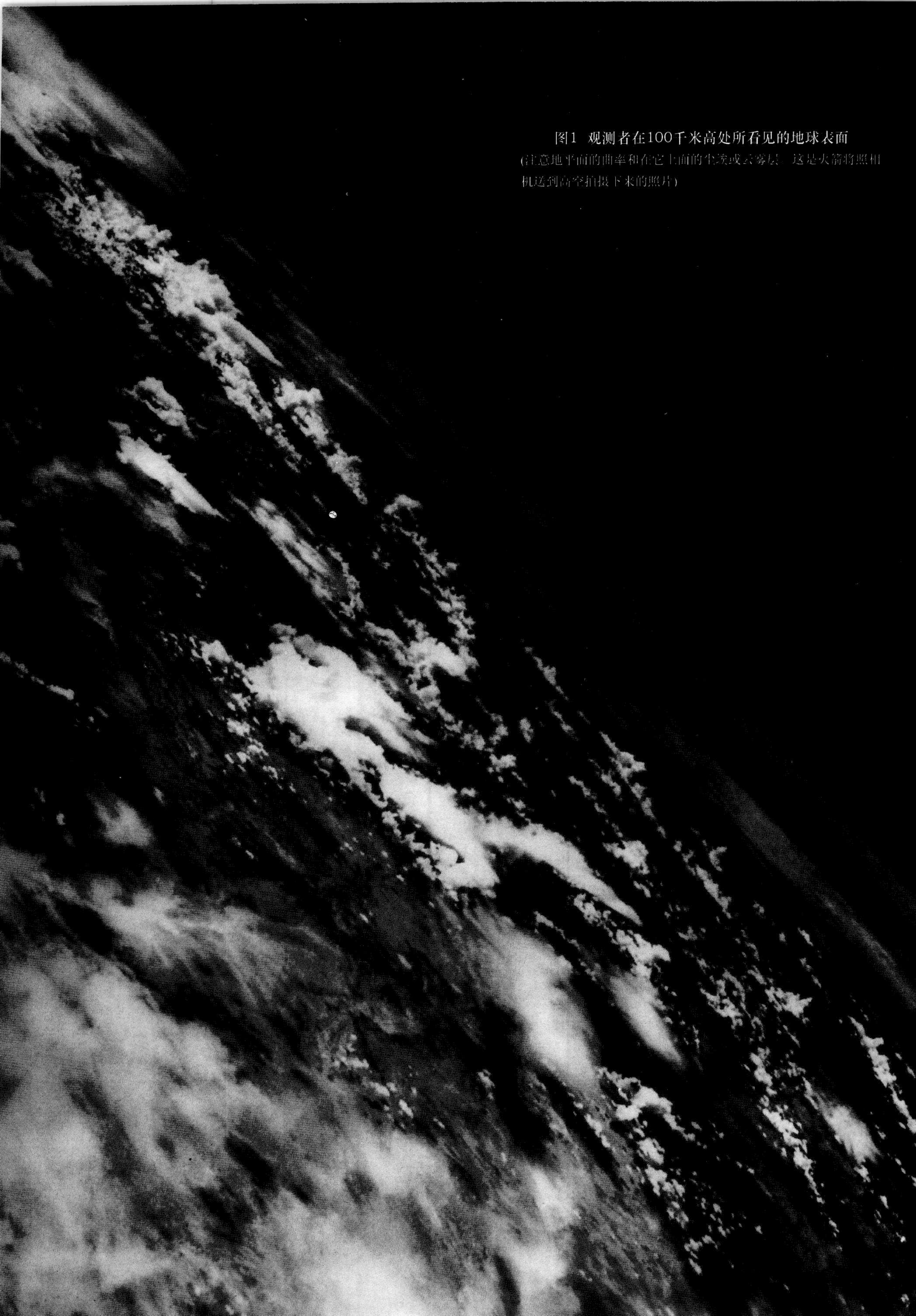


图1 观测者在100千米高处所看见的地球表面
(注意地平面的曲率和在它上面的尘埃或云雾层。这是火箭将照相机送到高空拍摄下来的照片)



图 2　地貌伟观之一：摩洛哥的萨乌拉山谷。 后面是发展中的沙丘。

# 第一章

# 天空中的地球

本书是为喜欢了解周围的事物，且对于宇宙的情况想没有太多的付出就可以得到一些基本的、明确的概念的读者而编写的。我们是在什么东西上行走？地球在无限空间里占有什么地位？维持地球上的生命的太阳光是什么？我们头顶上的天空是什么？黑夜里发光的星星是什么？要想得到解答这些疑问的知识，并不是无益的。如果没有关于宇宙的基本知识，我们便只能永远受着自然界的影响而不明白其原因。这样的基本知识，我们

不但可以不太费神地获得，而且还可以从学习中得到无穷的趣味。天文学绝不是孤僻的、高不可攀的科学，它是和我们最接近的一门学问，在我们的一切知识里它是最需要的，同时它能使我们入迷，给我们无比的快乐。我们不能漠视天文学，因为只有它才使我们明白，我们在哪里，我们是什么，而且它并不像有些学者所说的那样，使你认为它充满了数字。数学的公式不过是像建造华丽宫殿的架子，当架子一经拆掉，这神圣的殿宇便在天穹上放出光辉，在惊奇的眼睛里，显现出它的伟大和辉煌。

这并不是说阅读这本《大众天文学》一书的人就不需要专心致志。这样的书虽然比一本小说更真实、更亲切，可是唯有你细心地去读，书中的基本概念才能成为你经久不忘的科学知识。读一本小说，有时候到最后一页，读者还是和开始一样，没有得到什么知识；可是任何人读了一本科学书，都会扩大他的认识范围，提高他的判断能力。我们简直可以说，在我们的时代里，如果一个人对近代天文学的伟大成就一无所知，那么他就不能叫做一个受过教育的人。

但是只需要稍微改变一下情况便不会有天文学了：如果我们的大气中水汽的成分稍微多一些，使地球披上浓云的外衣，或裹上一层不透光的被盖，把天穹和它上面发光的星星完全掩蔽起来，于是我们就生活在永恒的浓雾里，对于天上奇妙的现象全无所知了。这样一来，我们人类的生活、意识和哲学一定会和今天大不相同。

研究星辰的科学已经不是少数专家们的秘密，天文学启发了一切人的智慧，并且揭示了自然界。这说明如果没有它，人们便不知道自己在万物中所占的地位。即使是粗浅的一点天文学知识，也是人们所需要的，因为今天每一个人都有必要了解宇宙的真相。

天文学给我们揭示的一切真相里，对于我们来说，最重要而且也是使我们最感兴趣的，首先就是它说明了我们所居住的地球是一颗行星，并且说明了这颗行星的形状、大小、质量、位置和运动。要研究天，最好先懂得地，因为地球是和我们最接近的。古代天文学的发展，就是从研究我们地球的位置和运动出发的，但是必须依靠近代天文学，我们对于这颗行星才有确切的认识。根据观测表明：地球绝不是宇宙的中心，它在时间的洪流里，奔向一个我们不了解的目标，它迅速地旋转着，载着它表面上生死不已的人类在太空运行。

几千年来，人类关于地球的性质和它在宇宙中的位置以及宇宙的一般构造的认识是错误的。假使没有天文学，人类的有关认识到今天还会照样错下去；即使在今天，也还有许多人由于缺乏天文学的基本知识，对于我们居住的世界存在着荒谬的看法。

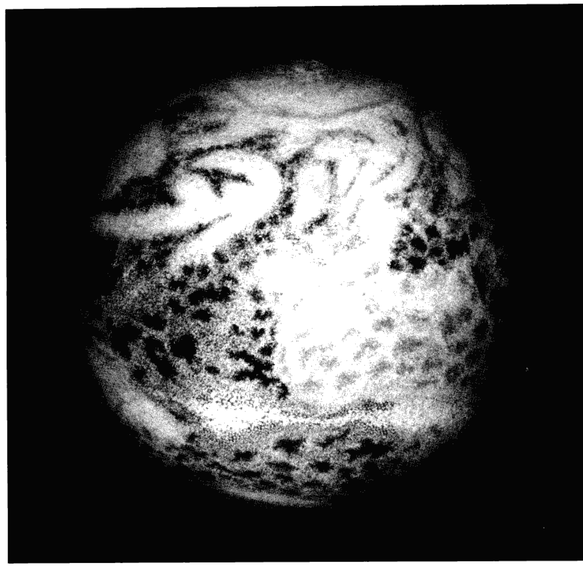


图 3　空间的地球，这是在月亮上看地球的情况，其中的一部分被云掩盖着

现在，上小学的孩子们很容易说出“地球是圆的”这个真理来。可是他们却没想到，人们经过多大的努力，借着几何学和天文学的帮助，才发现了这个真理。

我们放眼望去，大地是一个广阔的平原，虽然它表面有各种各样起伏的地形：青翠的山岭、美丽的峡谷、高耸的山脉、蜿蜒的河流、明媚的湖泊、辽阔的海洋以及千变万化的原野。大地又好像是固定地稳立在永恒不变的基础之上，上面是阴晴变化的天，它又好像是宇宙的不可动摇的基石，日、月、星辰都似乎在围绕着大地转动。根据这一切表面的现象，人们很容易相信地球是宇宙的中心，它是为了人类的居住而被创造出来的。这种浮夸的看法，只要没有人提出异议，就很可能长久地被人类保留下去。

原始人愚昧的生活经历了漫长的岁月，他们以整个精力忙于寻求食物。后来，他们的智力逐渐发展起来，想方设法地防备自然的灾害和抵御仇敌的袭击，以及增加他们物质上的财富。智慧是慢慢发展的，直到有一天，在东方宽阔的原野上，有人开始观测星辰的运转，于是就诞生了天文学〔引起天文学发展的主要原因，是我们想了解天文现象对于劳动生产的关系，而不是少数人因好奇而观测星辰的结果。——译者注〕。起初，只是一些牧羊人在黄昏日落、黎明日出时注意一些简单的天象。例如，月亮的盈缺，月亮比太阳和星辰晚一些升起，布满繁星的天空在我们的头上缓缓地变化，行星在星座里的运动，流星好像从天空中飞了出来，神秘而可怕的日食和月食，奇怪披发的彗星，这一切便是几千年前古代人观测研究的对象。天文学是最古老的科学，远在有文字以前，人类已经研究天象，还创造了一种原始的

历法。原始的观测记录因战争而遗失，现今所保存的年代最悠远的观测，首推中国历史的记载。例如，公元前 2679 年的新星，公元前 2316 年的彗星等。中国人还记下了公元 11 世纪冬至日太阳是在宝瓶座 β 星附近，而现在它却在人马座 γ 星附近，相距有 40 多度之差。古埃及人在公元前 4200 年间已经有相当完备的历法，他们把惯用了几千年以 360 日为一年的历法改为以 365 日为一年的历法。7 天为一个星期的周法，也有了它在天文学上的根据。虽然它在公元 3 世纪才传至欧洲，虽然一周 7 天的名字和每月的名字一样，字源同样出于拉丁语，然而事实上，远在公元前许多年前，星期的制度已经创始于犹太或巴比伦了。这七天的命名，是根据古人所知的运动的星辰：日、月、火、水、木、金、土七星。假使那时候人们已经认识我们在 1781、1846 和 1930 年陆续发现的天王、海王和冥王〔2006 年 8 月 24 日国际天文学民间联合会大会的决议通过：冥王星被视为太阳系的矮行星，不再被视为大行星。——编者注〕三星，也许今天的一个星期是 10 天，而不是 7 天。时日的划分若有了差异，对于社会的组织就不能没有影响。

公元前 800 年间，大约在荷马时代，人们以为地球的周围环绕着名叫俄刻阿诺斯(Okéanos)的海洋。海水充满下面的半球，只有上面的半球才对着天。太阳（赫利俄斯，Hélios）每晚落在这海里就熄灭了它的火，在海洋深处洗了一个澡以后，第二天早上重新点燃了它的火。

古人根据表面的观察，以为夜晚星辰闪烁的天空和昼间阳光普照的天空是两样的。如果那时有人敢说，白昼的天空也充满了星星，正和夜里一般，只是因为太阳的强烈光辉将星光掩蔽，我们才看不见星星，那么这个人一定是一位有才、有胆的理论家。

不久，人们便注意到太阳、月亮、行星、恒星都有东升和西落的现象，而且在落下去和升起来的时间间隔里，这些星辰都应该从地下面经过。地下面！这三个字具有多么大的革命性的意义啊！一直到了那个时候，人们总以为我们脚下的地是无限的深厚，它一定是建立在坚实的基础上面，否则他们便不能设想为什么地是这样的稳定。可是，星辰在我们头上所走的弯曲的路径，既然在它落下地以后仍然继续进行，到第二天再从地下升起，那么我们便应该设想地下有广大的走廊，使天上的这些火炬通过。有些人以为地像一张圆桌，立在 12 根支柱上面；又有人以为地像一个圆顶，载于 4 个铜像的背上。但是世界需要支撑的这个看法，不管支撑的东西是柱、是铜像或是山，总不能消除掉疑问，因为这些支撑的东西也应该有它们的基础。天穹好像围绕着我们在旋转，于是使地球稳定的这个支柱便无处安放，而不得不打消有支柱的这个见解，因此，我们便不能不承认地是悬空无靠的。如果我们相信迪欧根尼(Diogène de Laërt)的话，这便是阿那克西曼德(Anaximandre)在

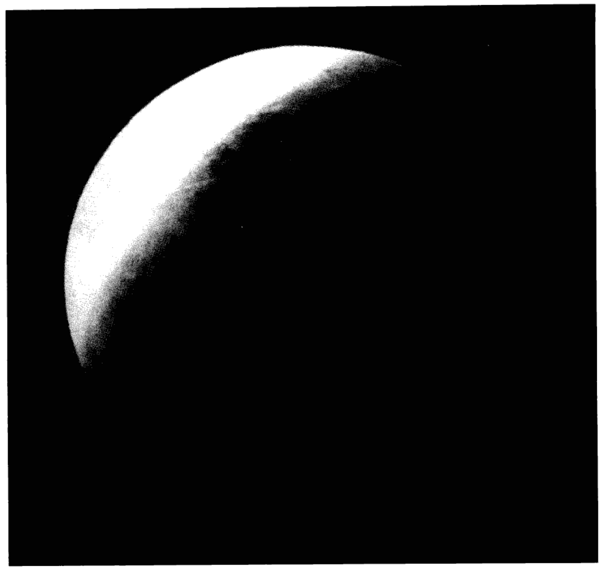


**图 4　月食时(1921 年 10 月 16 日)地球的黑影在月亮上的情形(地影的轮廓是圆的)**

公元前 500 年间所得出的结论。我们有理由把认为地球是悬空的这个看法当做是天文学上的一个大发现。与荷马同时代的赫西奥德(Hésiode)以为地是一个圆盘,处于天穹和地狱之间,其间的距离曾经被伏尔甘(火神,Vulcan)所测定,他的砧从天穹落到地面需要九日九夜,再从地面落到地狱也需要同样长的时间。关于宇宙构造的这种见解,在许多年代里一直支配着人们的思想。但进步的火炬已经点燃,便不会熄灭。地理学的发展与对月食的观测(图 4)证明我们所居住的世界实在是一个球。于是人们便想象这个伟大的球处在宇宙的中心,别的天体——月亮、太阳、行星和恒星,从现象上看来,都围绕着地球,依照大小不同的圆周转动。

近年来,我们对于地是球形的这个论断已经得到直接的证据,这便是从很高的一点拍摄地平线的照片。1935 年有人用上升到平流层的气球,在高出地面 22 千米处拍照,最近更有人用火箭载着照相机射到 100 千米高处去拍照(本篇封面图,即图 1)。地平线的曲率在第一张照片上已经可以看得出,在第二张照片上,更是非常的明显(本篇第七章)〔1961 年以来,载人宇宙飞船已经从更高处拍摄了许多地面照片。——校者注〕。

天文学家细心观测天体的视运动已有 2 000 年的历史。在研究的过程中曾出现过很多奇特的不能解释的复杂问题,这些问题一直到他们明白自己对于地球位置的认识是错误(和过去他们认为地球是稳定的一样)时,才获得了解决。不朽的哥白尼反复地讨论了在他 2 000 年以前的古希腊人,如伊塞塔斯(Hicetas)、埃斯方特(Ecphante)、斐洛劳斯



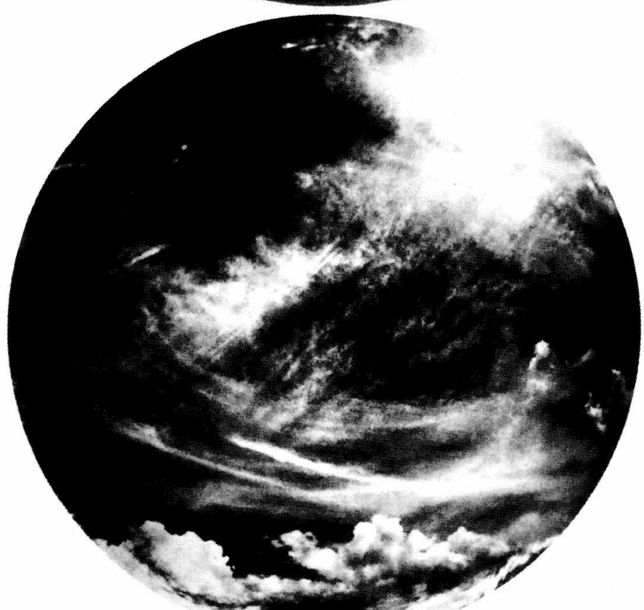


图 5 和图 6　在 18 分钟的间隔里所拍的两张照片，反映云彩密布天空的变化

(Philolaüs)、柏拉图(Platon)、赫拉克利德(Héraclide)和阿利斯塔克(Aristarque)等提出的地球运动的学说,这一学说曾于1440年被尼科拉·德·曲萨(Nicolas de Cusa)主教重新提出,但总是不被人们接受。这位博学的波兰僧正(即哥白尼)在1543年与世长辞时,给科学留下了一本巨著〔指《天体运行论》(*De revolutionibus orbium coelestium*),旧译《天旋论》〕,明确地揭露了人类对宇宙长期的错误认识。

地球在24小时内绕着自己的轴转动一周,由这一运动所形成的现象,便是天穹围绕地球转动一周,这是哥白尼所说明的第一个真相,而且从此就被肯定下来。这也是我们首先要考查的事实。上面已经说过,我们对于天文学的学习,将从研究地球在空间的位置和它的各种运动开始。

地球绕着自己的轴旋转,不过是它的一种运动。它被太阳的引力控制在一个轨道上绕着太阳运行,日地平均距离是1.49亿千米,在一年内绕了一个约有9.4亿千米长的大圆周。

我们的地球要在365 $\frac{1}{4}$日里绕这样大一个圆周,它在空中运行时,一天要走257万千米,一小时要走10.7万千米,一秒钟要走30千米,这是很容易计算出来的。

我们在空中运行的速度比最快的火车还要快1000倍,而火车比乌龟要快1000倍。如果我们开出一列火车去追赶地球,那正像一个乌龟去追赶火车!我们的地球在天空中运行的速度比炮弹的速度还要快30倍。

假想有人在空中距离地球轨道不远的地方,看见一个渐渐增大的星球滚滚飞奔而来,盖住了整个天空,然后又向空间深处飞驰而去,他该是怎样的惊诧!

我们住在这样一个运动着的球上,差不多就像附在射击到空中的炮弹上的灰尘一样。空气、水和我们周围的一切都参加地球的各种运动,所以除了去观测那些不参加这些运动的星辰以外,我们是不能够证明有这些运动的。这颗载着我们的行星的运动,既不受摩擦,也不会碰撞,绝对沉寂地在永恒的天空中运行着,这是多么奇妙的结构啊!地球在它理想的轨道上庄严地运动着,比在澄静的湖面上划行的小船还要轻盈。

撇开现象不说,且来谈谈真相。地球实际上是一颗天空中的星,正如月亮或别的行星一样。行星的光都是反射太阳的光,实际上别的行星并不比地球明亮。在宇宙间,从远处望地球,它就像一面明亮的圆轮;再远一些看去,它就成了一颗星。在金星上看地球,它将是天空中最明亮的星了。地球围绕太阳的公转运动,使我们有季节、岁月的循环。它绕轴自转的运动使我们有昼夜的更替。我们对于时间的划分,就是根据这两种运动而来的。假

使地球不动,假使宇宙静息,我们就没有时、日、星期、月、季、年和世纪了——可是宇宙是运行的。

我们刚才所说的两种运动对于我们是最重要的,但是地球却不仅仅只有这两种运动,事实上地球在天空中运行还有许多别的运动。我们现在举几种主要的来谈谈:

第三种运动是因为有月亮的存在,它把地球拉出绕太阳运行的轨道。事实上这个理想的轨道是地球和月亮两个天体的重心所走的,地球绕着这个重心每月转一周。这重心离地心约有 4 660 千米,所以在地面下 1 700 千米的地方,并常和月亮在相同的一边。因此地球的第三种运动使它每月走一个轨道,不过因为这个轨道的直径只有 9 320 千米,比它绕太阳公转的轨道实在是微小得多。这种位移就是形成所谓太阳的月角差〔这几节内所用的专门术语,读者不必急于去求了解,因为这里不过是一般的叙述.以后一切专有名词都有详细的说明〕的原因。

地球并不像地面上滚动着的球那样,常常使它自己的旋转轴维持在水平面上;地球又不像在地板上回旋的陀螺那样,经常维持着自己的垂直的轴。地球的轴总是维持在一定的方向上,它的北端时常指向天空中接近北极星的一点,并且和地球绕日公转的轨道斜交。换句话说,地球的赤道和地球轨道平面(黄道)是斜交的。极点在众星中并不是绝对固定的,因为地球的轴好像一根指着天的拇指,经历若干世纪才缓缓地绕过一个圆圈。极点的转动之慢,大约需要 2.6 万年才能绕行一周。地球的这种长期运动,叫做二分点的进动或叫做岁差。这便是地球的第四种运动。这种运动,比起上面所说的三种运动,实在是缓慢得多了。这种运动是由于太阳和月亮两个天体对地球赤道突出部分的作用而产生的。

第五种运动和第四种类似,是单单由于月亮对地球赤道突出部分的吸引而产生的,这叫做章动。它使极点在众星中移动,和岁差相似,不过轨道是一个很小的椭圆,大约需要 18 年零 7 个月才绕行一周。

第六种运动使黄道与赤道的交角缓慢变化。这个交角现在是 $23°27'$,比$\frac{1}{4}$直角稍大一些,但这个交角现在正在逐渐地变小,将来又会大起来。这种长期的摆动,叫做黄赤交角的变化。

第七种运动使地球围绕太阳所作的曲线产生变化,这条曲线不是正圆,而是稍扁的椭圆。随着不同的世纪,这个椭圆时多时少地接近于正圆。这种运动叫做偏心率的变化。

在这个椭圆上,太阳占着它的一个焦点。在轨道上和太阳最接近的一点叫做近日点,现在地球大约在 1 月 2 日经过这一点。第八种运动便是使这一点移动。公元前 4000 年,

地球在 9 月 23 日经过这一点；1250 年，地球在 12 月 21 日经过这一点；今后，在公元 6400 年的 3 月 21 日、在公元 11500 年的 6 月 21 日经过这一点；最后，在公元 16000 年(即自公元前 4000 年算起，经过了 200 个世纪)，近日点才重新回复到公元前 4000 年的位置。这种运动叫做近日点的长期变化。

虽然我们讲了这么多的运动，可是还没有说完。

第九种运动是由于行星变化的吸引力所引起的。我们的邻居金星和庞大有力的木星起着主要的作用，它们干扰了地球的公转轨道，造成各种各样的摄动。

因为太阳应该围绕太阳系的公共重心而运动，这样就移动了地球公转的中心，于是使地球发生了第十种运动。

第十一种运动比以上的十种更令人注目，它使得太阳越过星空，地球和别的行星也随着太阳同时越过星空。自有地球以来，它从来没有两次在相同的位置上，它也绝对不会再回到我们现在所处的位置上来。我们在星空中沿着无穷尽而且时常变化的螺旋圈而运行。还必须指出，地球随着太阳在银河系里转动。所谓银河系，是指由 1 000 亿个太阳组成的星系，它和别的以亿计的类似的星系分布在空间里。也许银河系在所谓总星系里，也是同样地在转动着。

最后，地球本身也在改变它自己的形态，这是它作为一个行星在不断地运动中所不可避免的结果。就以我们生活的短时间的尺度来说，这些变化，有日、月的吸引力所引起的潮汐，周期地不但吸起海面，也吸起了陆面；主要的气象现象，使大气里的空气团和水汽团移动；从地理纬度的变化而发现地极的移动，虽然微小，但却存在，还有地球自转速度长期的、不规则的和季节的改变以及地震、火山等等现象。以地质史的长期尺度来说，这些变化有因地壳的变形造成了山岳，再因流水的冲刷削平了山岳，海洋和大陆的变迁，沧海桑田的改观。总之，在几亿年之间，地球的面貌已经是大不相同了。



图 7　日落时的云

# 第二章

# 地球怎样围绕着地轴和太阳转动

我们要详细研究一下地球的主要运动。

说来真是奇怪，地球的运动不但影响了我们的物质生活，而且也影响了我们的精神生活。这些运动给我们以测量时间的规律，我们整个的生活便被这种规律所影响。譬如，我们生存的时间、岁月的划分，工作的变换以及历法的制定，都和地球的运动发生了密切的联系。

各种星球上时间的种类是非常繁多的。例如，在月亮上，一年只有 12 个白昼和 12 个黑夜，而那里一年之长和我们这里是相同的（我们以 365 日为一年）。可是木星（它不是整体地自转，而且自转速度随纬度而变化）的一年比地球上的一年约长 12 倍，但是那里的一日却比地球上的半天还要短，因此，木星的一年至少有 1.05 万日！土星也不是整体在旋转，那里的岁月更是奇特，它的一年比我们的一年长 29 倍，共有 2.5 万日之多！而海王星上的一年，超过我们的一个半世纪，实际等于我们的 165 年，至于冥王星的一年，则等于我们的 249 年，简直将近两个半世纪了！

# 昼 夜

昼夜循环的现象给了我们测量时间的第一种尺度，这是我们最先感觉到的事实。至于季节的循环、每季和一年的长短，是以后才觉察到的。月相的变化更为迅速，比起四季的变化更易使人觉察，所以时间的观念最初是按照“日”和“月”两单位而划分的，过了很久，才有“年”这个单位的概念。印度的古诗还为我们保留着原始人对于黑夜的恐惧：“太阳啊，美好的太阳完全消逝在西方了。真的，明天早上我们还可以在东方再看见它吗？假使它不再来呢？没有光，没有热，冰冷漆黑的夜笼罩了整个世界！怎样再找到这失去的火呢？拿什么去代替那施恩的太阳和天上的光辉呢？星星只在无边的天穹上射出忧郁的荧光，月亮在茫茫的大气里倾泻出银色的露珠，给酣睡的大自然以无限的妩媚；可是它们都代替不了太阳，代替不了白昼……噢！黎明缓缓地出现了，那是光，那是昼。太阳啊！天上的君王，为我们祝福吧！啊！您不要忘记再回来呀！”

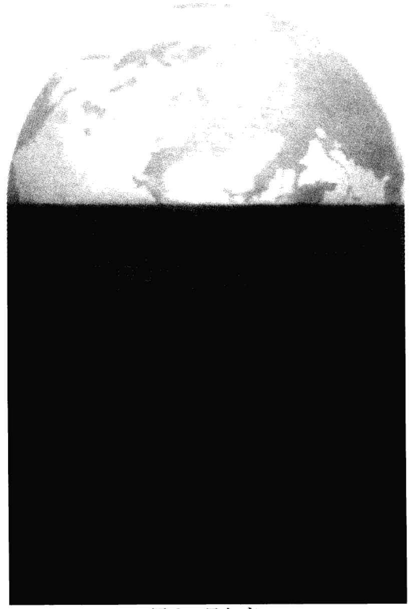


图8 昼与夜

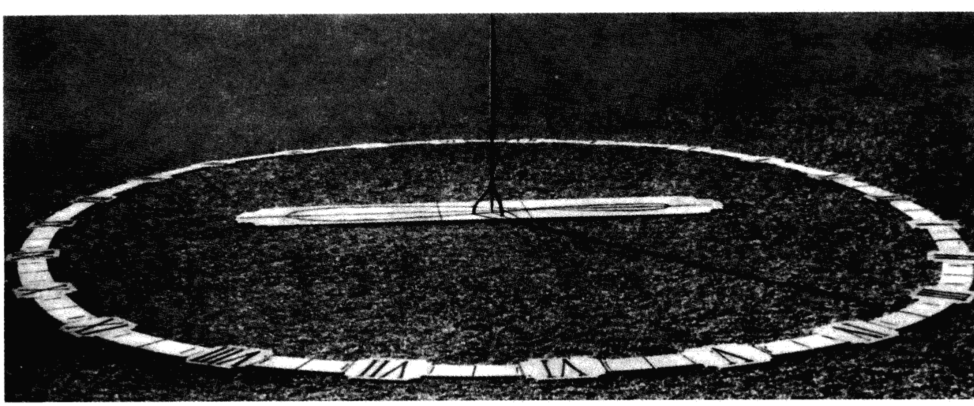


图9 法国布尔日城教堂里的人影晷

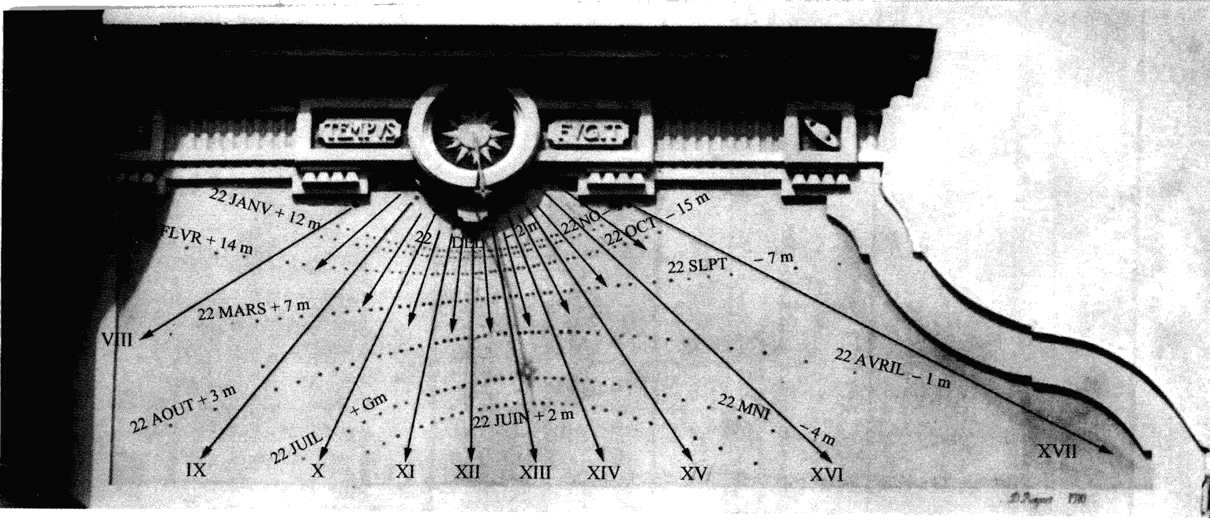



图 10　朱维西的弗拉马里翁天文台的日晷

昼是什么？夜是什么？它们是地球的自转和太阳的照耀所形成的两个相反的结果。如果地球不旋转，太阳便固定在天空，那么地球的一半永远是昼，另外的一半永远是夜。

每个人都注意过，太阳早上从东方升起，缓缓地升高，到了南方达到最大的高度，又缓缓地沿着斜挂的圆周落下去，晚间在西方落下地面。如果我们站立的位置是使东方在左、西方在右，则我们面向南而背向北，这时，我们望着南方，北极就在我们的背后〔这只是人在北半球的情况。如果在南半球，我们只能看见南极，我们应当背着南极去看中午的太阳，于是太阳从我们右手升起，向左手落下，正和我们在北半球观测到的情况相反〕。我们叫做子午圈的是天球上的这样一个大圈：从天球北极起，经过正在我们头上的一点，一直延展到南极，再回到北极来。太阳在中午经过这个子午圈。太阳连续两次经过子午圈的时间是 24 小时。时间的起算点随时代而不同，或从中午，或从日落，或从半夜，或从日出，这 24 小时也不经常被人分为相等的部分。

大家都看过日晷，它可算是普及天文知识的一种工具。它利用在阳光下的一根杆的影子，大概地指出太阳时来。常见的一种日晷是建在可被日光照到的垂直的墙壁上，在其上描绘出代表时刻的线条，一根针影和这些线条重合的时候，便表示出时刻来(图 10)。日晷的种类很多，可以建在任何垂直的、水平的或者倾斜的平面上，也可以绘在曲面上，其形式和位置都可以随便处理。只是应当满足一个条件：在白天，日晷的表面应该能接受到日光。如果在某一瞬间，人们可以同时读出全球的日晷所表达的时刻，就会立刻发现这些时刻是不相同的。有些农民常说的“太阳时”是随我们所在的位置不同而不同的。只要思考一下便会明白其中的缘故。因为地球的自转运动，地上的各处依次地落在光明或黑影里，即在白昼或黑夜里。在任何一个时候，一个地方是昼，总有另一个地方是夜。对整个地球来说，所有人从来没有在同一时刻睡眠；这半球在休息，那半球则在工作。当年英王查理五世曾夸耀他的领土宽广，号称自己的国家是“日不落帝国”。

地球是悬在空中的，宇宙间并没有什么叫做上或叫做下的地方。可以设想，某一个时候，譬如我们正在中午，这就是说，我们处在太阳照着的半球正当中的地方。地球在背着日光的一面拖着一个影子(图 8)，和我们相反的半球便浸沉在地影或黑夜中。所谓黑夜，不过是没有被阳光照着的那部分的情况。地球是在转动的，12 小时以后，也就轮到我们进入这黑影的正中，或者说到了半夜。把图 8 倒过去看，你便把太阳放在你的脚下，黑夜在你的头上了。但是地球所拖的这个影子并不伸长到整个宇宙里去，凡在这影子以外的地方仍被阳光照耀着(月亮和行星便是这样)。因为太阳比地球大，而且大得很多，所以地影的形状是锥形的，这锥的顶点距离地面平均大约有 120 万千米。月亮和地球的平均距离只有 38.4 万千米。有时月亮可以正好走在地球的影子里，那时候便发生了月食的现象。月面被食的分界处是圆形的(图 4)，这便是亚里士多德认为地是球形的而且无依无靠地漂浮在空中的证据。

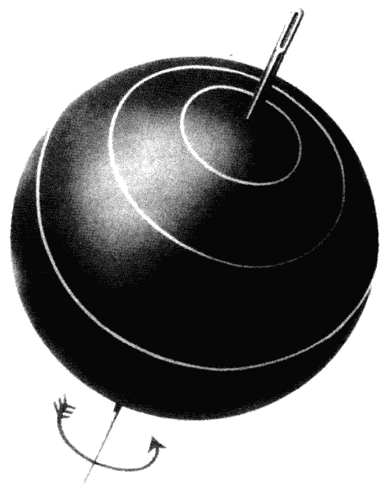


图 11　地球围绕自己的轴旋转

假设用一个被一根针贯穿的球(图 11)来代表地球，再假设我们用手指使这根针转动，这根针就代表地球的旋转轴，球面和针相交的两点，就代表地球的两极。这两个基本观点，想来读者是容易记住的。现在我们就明白了所谓地轴就是穿过地心的理想的直线，自转就是绕着它在进行；我们也明白了什么是两极。把这个球的北极对着我们，并使这个球按照地球旋转的方向那样旋转(使它按逆时针方向转动)，你就可以知道，地球的自转是带着我们由西向东转动。

## 时　间

图 12 表示地球上各处如何依次地经过白天和黑夜。在这个图上，巴黎正在太阳的照耀下，时间正是正午；而在法国左边的地方，对它(巴黎)来说是在东面的地方，比它先天亮，比它先过正午。在同一时圈线上的地方都有相同的时刻。这些时圈便是各地方的子午圈，它们之间的差就表示了它们之间的经度差。这些子午圈都是从极点出发的大圆。如果用一个垂直于轴的平面，在和两极等距离的地方，将地球截为两半，这平面与地球相

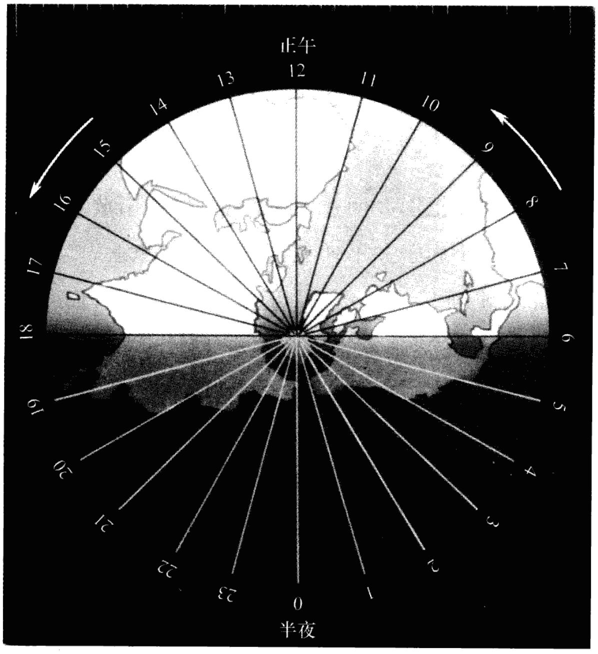



**图 12　昼与夜的时间**
二分日世界时（格林尼治平时）正午。

截的截线叫做地赤道，这便是图 12 的大圆。为了测量极和赤道之间的距离，我们在地面上围绕着极点，平行于赤道，做许多圆圈，这些圆圈叫做纬度圈。

当巴黎是正午时，从北极到南极和巴黎在同一子午圈上的地方，如布尔日（Bourges）、卡尔卡松（Carcassonne）、巴塞罗那（Barcelona）、阿尔及尔（Alger）、冈巴（Gamba，在南非）等地都同是正午。时间的差数被经度的相差所规定。根据太阳所算得的真太阳时，当巴黎是正午时，以下各地的时间是：

| 地点 | 时间 | 地点 | 时间 |
|---|---|---|---|
| 罗马（圣彼得教堂） | 12 时 40 分 | 伦敦（圣保罗教堂） | 11 时 50 分 |
| 维也纳（圣泰田教堂） | 12 时 56 分 | 里斯本（天文台） | 11 时 14 分 |
| 彼得格勒（天文台） | 13 时 52 分 | 里约热内卢（天文台） | 8 时 58 分 |
| 伊斯坦布尔（圣苏菲教堂） | 13 时 57 分 | 纽约（市政厅） | 6 时 55 分 |
| 孟买（堡寨） | 16 时 42 分 | 利马（大教堂） | 6 时 42 分 |
| 北京（观象台） | 19 时 36 分 | 墨西哥（天文台） | 5 时 14 分 |
| 东京（天文台） | 21 时 09 分 | 旧金山〔阿尔卡特拉斯（Alcatraz）岛〕 | 3 时 41 分 |
| 惠灵顿〔皮皮塔（Pipitea）角〕 | 23 时 30 分 | 塔希提（灯塔） | 1 时 53 分 |

如果按照太阳来校准时钟，当巴黎是真正午时，上表便记载着这 16 个城市应有的时间。即使在法国一个国家里，各地的时间也有显著的差异。譬如从敦刻尔克（Dunkerque）到卡尔卡松（Carcassonne）以及经过巴黎的经圈上的各地，所有的日晷所指的时间都是相同的，可是离开这个经圈向东或向西，时间便要发生差别。斯特拉斯堡（Strasbourg）的日晷所指的时间，便比巴黎的要快 21 分 40 秒，可是在布雷斯特（Brest）〔法国大西洋岸的海港。——译者注〕又会慢 27 分 19 秒。在巴黎那个纬圈上，向东 1 000 米，时间就要快 3$\frac{1}{3}$秒；

向西走 1 000 米，时间就要慢 3 $\frac{1}{3}$秒。因此，在巴黎圣母院的一个人观看太阳上升的时间，要比在废兵院广场上的另一个人早 10 多秒钟。

假使有一位飞行家沿着巴黎的纬圈以每小时 1 100 千米或每秒 305 米的速度向西飞行。如果他从真正午时起飞，他将会看见太阳总是在他左边的上空。在他围绕地球飞行一周的过程中，他总是在中午的太阳照耀之下，可是飞机场上的时钟已经走了 24 小时，即整整一昼夜了(图 13)。当他降落在他的出发点时，仍然是真正午时，可是地面上的同伴已经比他多活了一天，这是因为飞机的速度使他不受地球自转的影响，他好像把太阳的视运动拉住了一样。他真的少活了一天吗？当然不是，因为人没有能力去阻止时间的前进。

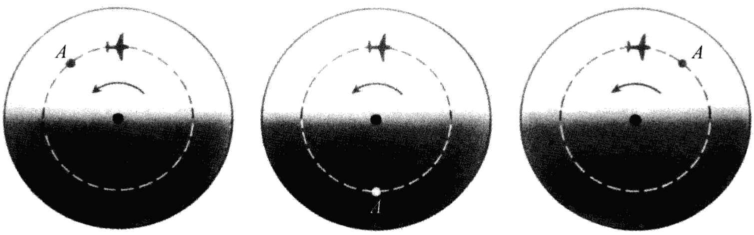



图 13　追赶太阳

飞行家沿纬度圈以足够大的速度飞行，真太阳时对他来说是停止前进的。

向西航行周游世界的旅行家在船上看太阳的起落，并记下经过的日子，则当他回到出发的港口时，就会发现他的记载比日历少了一天。例如麦哲伦(Magellan)的伙伴们在航行大西洋、太平洋、印度洋，再绕非洲返回到佛得角(Cap Vert)时，很惊异地发现他们到达的日子是星期四，因为按照他们船上的记录，那天应该是星期三。如果他们沿相反的方面航行在同样的路线上，那么他们会多出一天，即星期五到达佛得角。



图 14　航海用的六分仪(用来测定船位)

根据同样的道理，如果上述那位飞行家向东方飞去，他首先是迅速地离开了太阳，在经过第一个黑夜，飞过地球半周以后，他看见太阳又出现在他的头上，于是再继续飞行，经过第二个夜晚，降落在出发点时，又发现太阳在他的头上。这样，虽然他只飞行了 24 小时，但却经过了两个而不是一个昼夜。

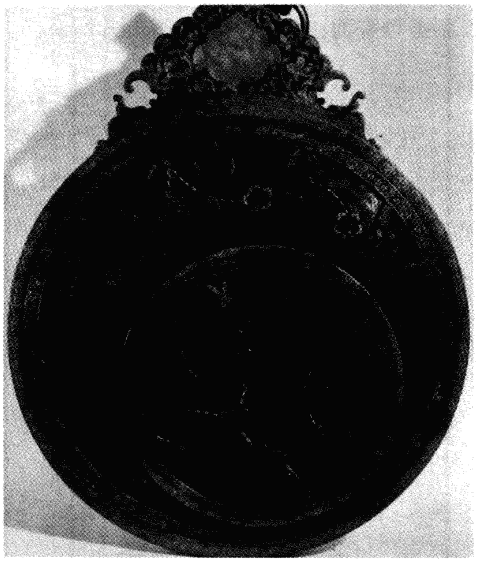


**图 15　渡斯人的星盘**

1676 年穆罕默德·卡里耳所造，现藏巴黎天文台博物馆。盘面刻有各种坐标线以及做成天图的蛛网；每一叶尖代表一颗星，名称刻在相应的叶片上。

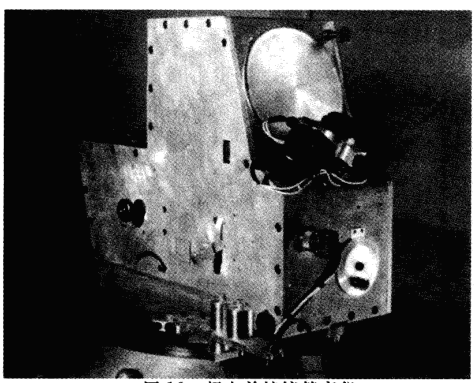


**图 16　超人差棱镜等高仪**

1952 年巴黎天文台开始使用。这个精密仪器可用来测定时刻和纬度变化。

在日常的生活里，日期上发生这样的混淆是不方便的，因此我们就要设法避免它。于是在航行的规则上规定，凡是从东向西行，经过一条名叫日界线（这是从两极经过太平洋，在东经 180°附近的一条线）时，就应加上一天（图 17）。如果是从西向东航行，那么便应减去一天。换句话说，在第一种情形下，我们越这一天；在第二种情形下，我们重复一天。在儒勒·凡尔纳（Jules Verne）写《八十天环游地球》〔该书中译本已由中国青年出版社出版。——校者注〕时，这个规则已经流行了。书中的旅客们在航程里尽量小心不发生事故，以免超过预定 80 天的限期。那些"环游地球"的英雄们很难说不知道有日界线这一回事，所以书中的结局未免是作者有些故意在开玩笑的。

让我们再来谈谈日晷上所表示的地方真太阳时。我们曾经说过，在同一个时候的两个地方，如果它们不是在相同的一个经圈上，它们的太阳时便不是相同的。两个地方时间的差别就是它们经度的差数，或者说就是两地的经圈所成的角度。旅行家、航海家和航空家要想在每一个时候把他们所在的位置表示在地图上，不得不根据天文观测来决定他们的经度。自然，他们不能使用日晷，他们用的是计时表。这种表的校准须使用各种精密的仪器，如经纬仪、航海六分仪（图 14），对太阳或者恒星进行观测。而天文学家更多使用高度精确的天文钟和各种各样的星盘或者等高仪进行观测〔"星盘"（Astrolabe）这个词，从前是表示旅行家或航海家所用的一种仪器，和现在航海六分仪的功用是一样的。根据测得的太阳或者恒星的高度，不需计算，便能在星盘上面的一个算尺上读出当时的时刻来。星盘是阿拉伯人发明的，上面所刻绘的花纹线条有时很精细，简直成了艺术品。今天，我们

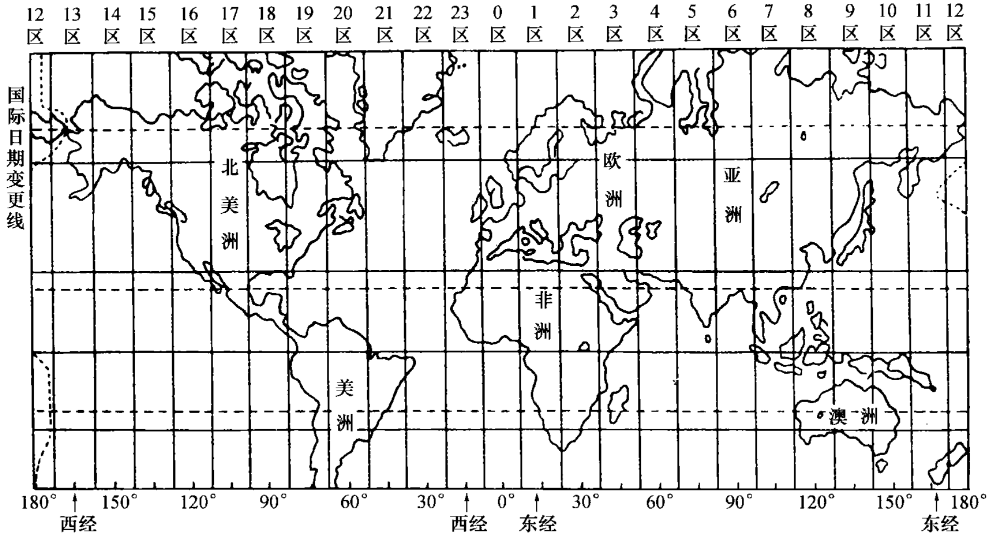



图 17　时区图

把星盘叫做等高仪，因为可以用等高的方法用它去确切测定地方的经纬度和时刻。这个高度精确的仪器与阿拉伯人简陋星盘并无关系。图 16 表示巴黎天文台所使用的超人差棱镜等高仪〕，但是这些只是技术上的差别，所用方法的原则却是相同的。自 1910 年以来，在经度的测量上，无线电通信成了最重要的技术。如果一个人借助观测天象可求得他的地方时，同时还可以收到某处无线电台发出的一种清脆的时号的声响，并且这个声响所代表的本初子午圈的时刻是已知的，那么便很容易计算出这个人所在地的经度了。

由此可见，地方时经常为天文学家、测量家、探险家、航海家以及飞行员在陆地、海洋和空中所使用，可是地方时仅有这样特殊的用途，而不能使用在日常生活上，因为即使在一个国家里，它随地区的变化而改变也是很大的。19 世纪中叶，近代迅速的交通工具和通信工具的发明，使人们觉得在一个国家里有采用统一时刻的必要。譬如，有一个电报从巴黎 10 时 0 分拍出，到了布雷斯特才 9 时 33 分，这封电报怎么会在时间上倒退呢？反过来说，一封电报在 11 时 0 分由布雷斯特拍出，虽然电报传播得与光的速度一样快，可是到巴黎却是在 11 时 27 分。像这样各地使用自己地方时的情形下，怎样去安排铁道或者航空线上的行程表呢？因为“需要为法令之母”，1891 年法国政府才颁布了一个法令，规定法国全国都使用巴黎经度圈上的时刻，于是所有火车站上的大钟就都使用巴黎时了。

可是还有更进一步的事要做，那便是统一全地球的时刻。这是一个困难的问题，所谓**时区**制度，也不是理想的办法（图 17）。在详细解说时区制度以前，让我们先说明标准时并不是太阳时。我们还需要再回过来谈谈地球的自转，自转时间的长短是对太阳来说的，可

是地球围绕着太阳在运行，因此太阳便成了一个移动的标志，方向便难于确定。但是对恒星来说，因它的距离遥远，才成为一个差不多不变的标志。同一颗星连续两次经过某地的子午圈（每个天文台每夜观测几十颗这样的星），其间所经过的时刻非常有规律，不是 24 小时（86 400 秒），而是 86 164 秒，即比 24 小时少了 3 分 56 秒。所以地球自转一周所需的时间是 23 小时 56 分 4 秒。

只要我们想到地球不但绕着自己的轴转动，而且绕着太阳在运行，那么地球自转的周期和太阳日的长短两者之间的差异就是很容易解释了。设想在某一定时间地球在某一个位置上，它沿着一个轨道由左至右（图 18）在一年内绕太阳转一周，同时，它又绕着自身沿箭头所指的方向一天转一周。设想在正午地 $A$（左球）正面对着太阳，第二天当地球恰好转了一周，它却到了右边那个位置，过 $A$ 点的子午圈又来到恰在前一天的那个位置。但是地球的公转使它向右移，在地面上看去太阳似乎向左退后了，因此要使 $A$ 点再来到太阳面前，使 $A$ 点再处在正午，就需要使地球绕着自身再转 3 分 56 秒，这在一年内每天都是这样的。因此太阳日（或称民用日）比地球自转的周期（又叫做恒星日）要长一些。一年内有 $365\frac{1}{4}$ 个太阳日，但事实上地球却转了 $366\frac{1}{4}$ 周，恰恰多了一天。

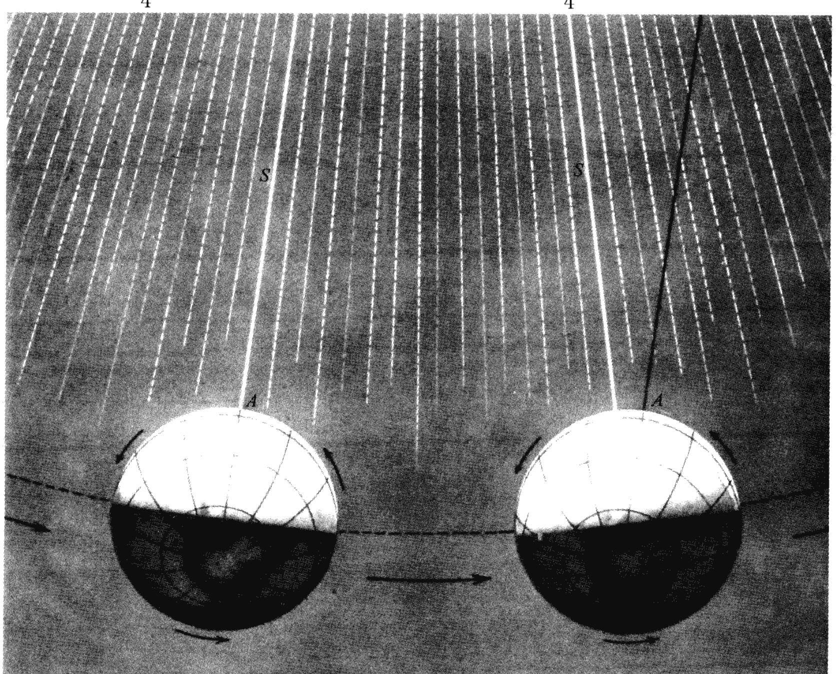



**图 18　太阳日和地球自转两种周期的差异**

太阳日比地球自转一周约长 4 分，因为地球除绕轴自转外，同时还在轨道上运行。

将恒星连续两次过子午圈与太阳连续两次过子午圈作比较，这两种时间的差别是3分56秒，但是这只是一个平均值，因为太阳的视运动比地球的自转更不规则。事实上，太阳每天的延迟在3月末只有3分38秒，9月中是3分35秒，6月20日是4分9秒，而在12月23日却是4分26秒。太阳过子午圈，即日晷上所表示的**真正午**，在任何连续两个真正午之间的时间并不是相等的。在9月16日、17日两天的两个真正午之间只有23时59分39秒，而在12月23日、24日两天的两个真正午之间却有24时0分30秒。

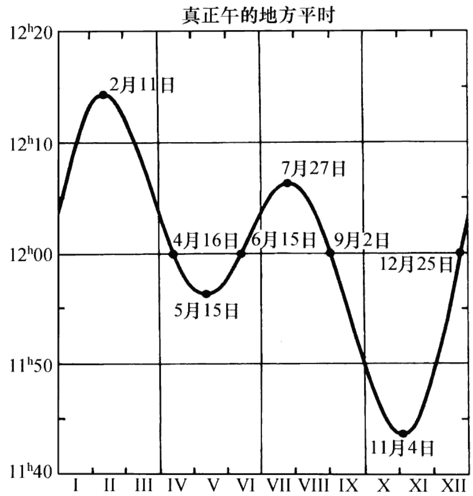
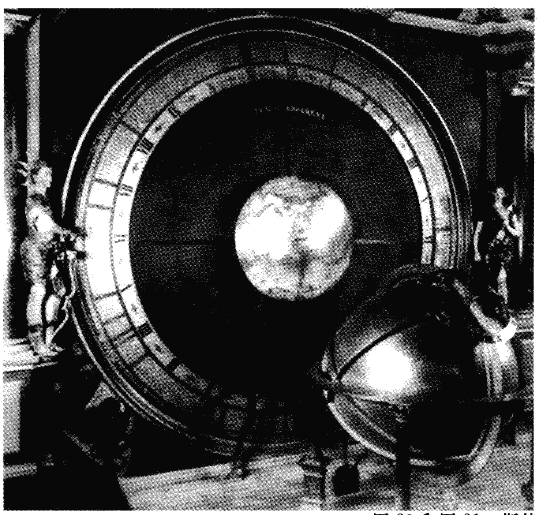



**图19 时差的周年变化**

表示日晷上是正午时，时钟上应有的地方时，至于将地方时改为标准时，还必须将所在地和标准时所规定的精度圈两者的精度差计算进去。例如北京的地方时应该减去7时45分53秒才得到格林尼治时区的标准时。(图中h为小时)



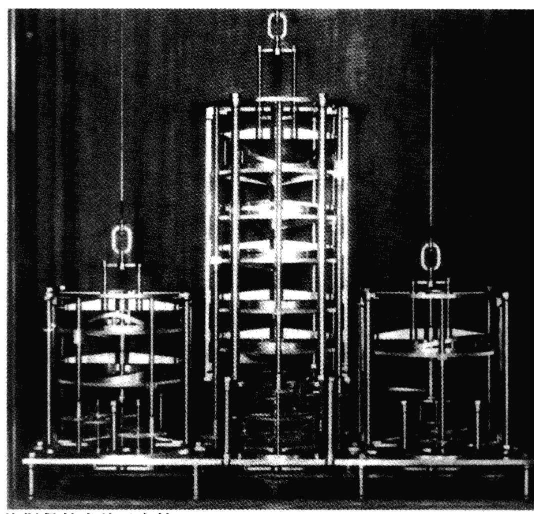


**图20和图21 斯特拉斯堡教堂的天文钟**

日晷，一个周围有光辉的镀金小圆轮的运动代表真太阳时(图中的XI时和正午之间)和时差；另外两根针自动地指出日出与日落；还有一根针，末端有一小球(图中被前面的大天球仪遮住)标出月亮的位置。日晷中央放有北半球的地图，一眼看去便知地球上哪些地区在白昼，哪些地区在黑夜。

时差的机构，左边那个机构对代表太阳的指针作时差的校正，另外两个机构用来控制代表月亮的指针的运动，代表月亮的指针能相当可靠地表示出日食和月食。

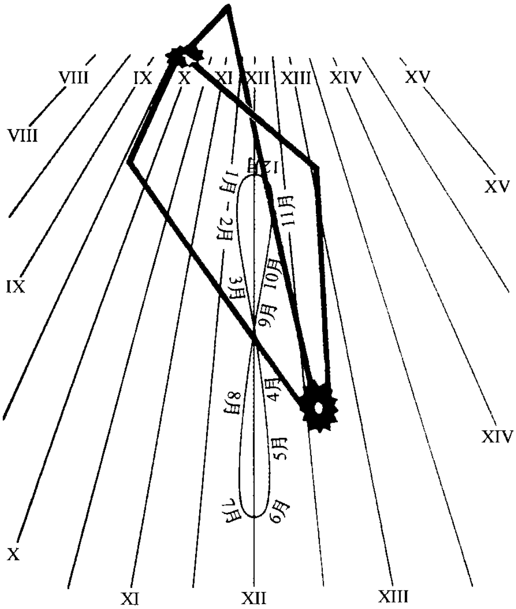


图 22 平时的子午线

图中有Ⅻ记号的直线代表子午线，平时的子午线和真子午线之差，形状像一个拉长的 8 字，相当于一年内各时期的时差。

这些差异，一天一天地累积起来，就形成了我们上述的那些显著的效果，它们的原因有两个：一方面，就像我们以后要说明的，当地球和太阳愈接近时，地球围绕太阳运动的速度就愈快。在 1 月初地球和太阳最接近，7 月初离得最远。另一方面，因为地球的自转轴和黄道是斜交的，连续两个中午的延迟，在两至日（冬至、夏至）比两分日（春分、秋分）更要大些。在两个效果中，第二个效果更要大些。一个构造精确的表，自然不会随真太阳时那样随意改变的。如果我们要把表校准来适合太阳时，则在一年内每天就必须使表上的指针前进或者后退，有时拨快 21 秒，有时拨慢 30 秒。从前在巴黎王宫里用炮声给市民报告真正午时，时钟便是这样校准的。大家便借午炮声来校准钟表，这样要求当时制造钟表的名厂布雷盖增加一种不必要的装置。自 1815 年以后，大家便放弃了复杂的太阳时而采用了民用时。这是一种均匀前进的时间，在一年内，真时比民用时快的总和和真时比民用时慢的总和恰恰相互抵消。一个精确的表不应该和太阳时相符，而应该和民用时相符〔在 18 世纪，精巧的钟表制造工人曾用自动控制时钟指针的办法，得到与太阳相符所需的快慢分数。这种校差钟今天已成了博物馆的陈列品〕。在路易十四时代，巴黎的钟表制造业工会已经在展览柜里挂着一架钟，钟面用拉丁文写着这样一句话：“它说明太阳时不准确。”

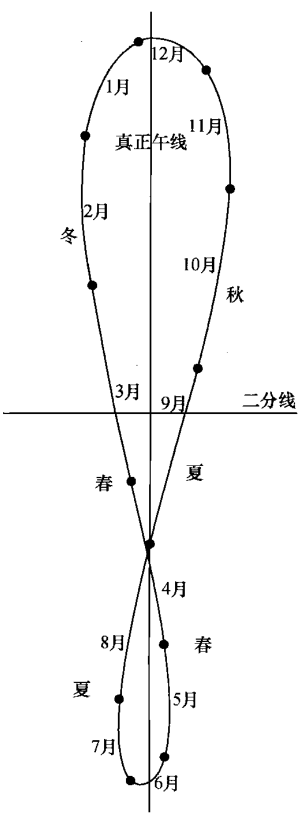



图 23 平时子午线的描述

图 22 上的曲线是在日晷平面上的投影，这里是在垂直平面内，根据制造日晷常用的方法做成的。

到了今天，日晷已不用来作为建筑物上的装饰品，是不是因为它们已经完全无用了呢？当然不是，问题是怎样使用它们，怎样使它们所表示的太阳时改为地方民用时。这种改换的办法必须借助于所谓名叫**时差**的一种改正数（下表中记载一年内各时期的时差值），然后再在这个地方民用时上加入所在地的经度和所在地时区的经度差，便得到大家使用的标准时。

**日晷上中午的地方民用时**

| | |
|---|---|
| 1月1日12时3分 | 7月15日12时6分 |
| 15日12时9分 | 8月1日12时6分 |
| 2月1日12时14分 | 15日12时4分 |
| 15日12时14分 | 9月1日12时0分 |
| 3月1日12时13分 | 15日11时55分 |
| 15日12时9分 | 10月1日11时50分 |
| 4月1日12时4分 | 15日11时46分 |
| 15日12时0分 | 11月1日11时44分 |
| 5月1日11时57分 | 15日11时45分 |
| 15日11时56分 | 12月1日11时49分 |
| 6月1日11时58分 | 15日11时55分 |
| 15日12时0分 | 31日12时3分 |
| 7月1日12时4分 | |

由此可见，4月16日、6月15日、9月2日、12月25日四天内，地方民用时和日晷上的时刻是相同的；在2月11日，日晷比地方民用时慢14分，5月15日差不多快4分，7月27日又慢6分多。每天的时差数值都刊登在天文年历上。

在有些日晷上附有一种装置，可借此直接读出民用时来。常用的一种装置是在固定的日晷上给出一根曲线，可从这根曲线上读出每天中午的民用时。这根曲线叫做**平时的子午线**，形状像一个拉长的8字，每天一到民用中午（即时钟上是12点），指针的末端便投影在这根曲线上。因此，观看针影经过这根曲线而得民用时的中午，正和观看针影经过子午线而得真正中午一样容易。

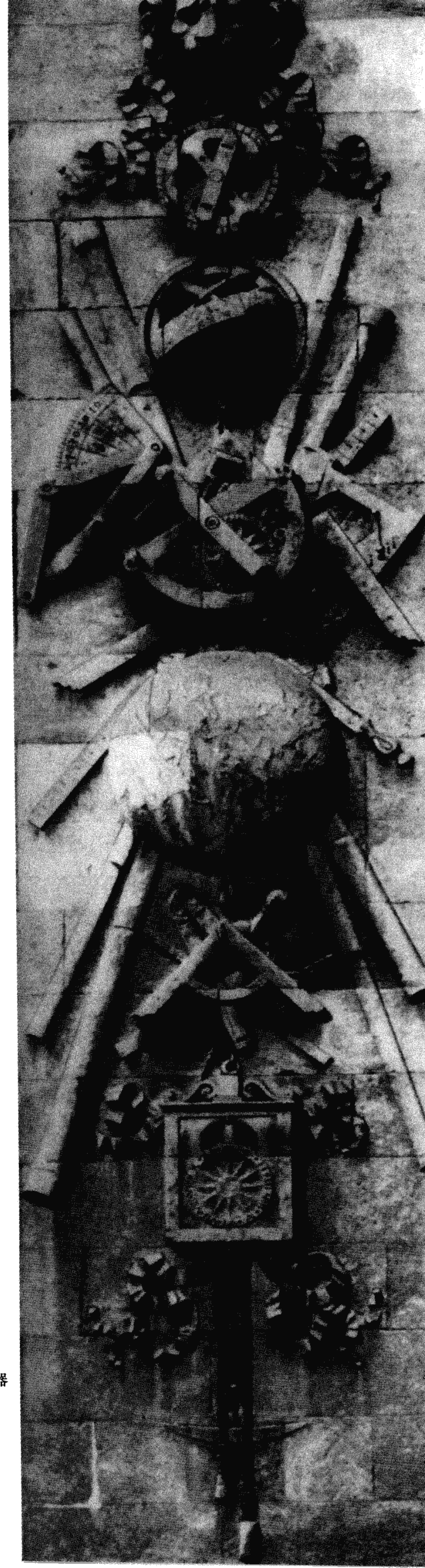


图24　17世纪所用的天文仪器和测量仪器
图下方是一座惠更斯的重锤摆钟。

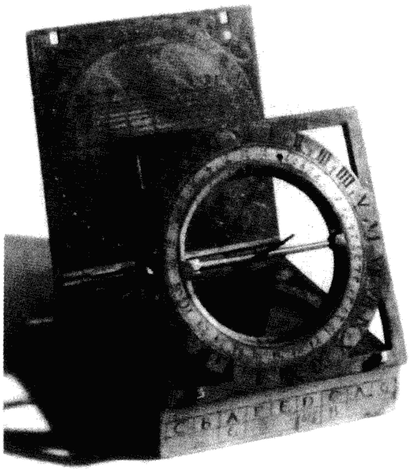


图 25　公元 1600 年制的太阳表
马德里制造，现藏巴黎天文台博物馆。

日晷的形状很多，有些很是奇特。有一种名叫人影晷，观测者站在相应的日子点上，他自身的影子便指出当时的时刻。法国安省(Ain)某教堂内以及第戎(Dijon)和阿维尼翁(Avignon)两城各有这样人影晷一具(图 9)。

1911 年 3 月 9 日法国颁布法令，废除使用以巴黎子午圈为准的时刻。经过多年的考虑之后，法国终于采用了以格林尼治的子午圈所决定的时刻为法国的标准时。这条子午圈是在 1884 年在华盛顿举行的国际外交会议上所决定采用来作为本初子午圈的。从 1911 年至 1916 年，格林尼治的民用时曾用于法国和阿尔及利亚(Algérie)。但在第一次世界大战期间，因为经济上和社会上的种种原因，仅在夏季采用一种夏季时，即在格林尼治民用时上加上 1 小时。从 1916 年至 1940 年，冬季时和夏季时交互使用，改变期常在 4 月和 10 月初。从 1940 年至 1945 年，冬季时钟拨早 1 小时，夏季拨早 2 小时。从 1945 年开始，全年采用夏季时，到本书出版的一年(1955)，还没有再使用冬季时。



图 26　**壶漏**
第十八王朝埃及王阿米诺菲斯三世制造，现藏开罗博物馆。

事实上，自 1911 年 3 月 9 日的法令颁布以后，法国加入了全球的时区制。设想在地面上 24 个等距的子午圈上，将全球分为 24 个部分。这些子午圈中的任何一个和其他一个的经度之差，是一个整的时刻。由这些时区向东计算，从 0 时区到 23 时区，而所谓国际本初子午圈恰好平分 0 时区，即在伦敦附近格林尼治天文台的子午圈。在这个时区内，从北极到南极都使用格林尼治的民用时，又叫做世界时〔人们时常把世界时和格林尼治平时混淆。平时是从中午起算，因为平时制的一日 24 小时不是从半夜而是从中午计算。我们（法国）所用的所谓民用时，是在平时上拨快 12 个小时。除了天文台，平时从来没有在实际生活中使用过，所以国际天文协会在 1928 年和 1948 年曾两度建议使用 GMT（格林尼治平时）代表世界时，这是唯一应该普遍使用的时刻，故以 UT（或世界时）的符号表示，但一般人不明白这个符号的意义，以致弄得非常混乱〕，它的一日 24 小时是从格林尼治的平子夜（夜半）起算〔民用时和平时的差别即平时是从正午开始计算，而民用时因实际生活的需要，是从正子时（夜半）起算〕。1 时区主要包括中欧各地，那里是使用世界时加上 1 小时的时刻，以此类推，以至 23 时区，那里使用世界时加上 23 小时的时刻，换句话说，那里钟表上指针的位置，恰好比 0 时区慢 1 小时。

时区制经全球普遍使用以后，全球所有的钟表在每一瞬间都有相同的分数和秒数，任何两时区内各地时刻之差，仅是整整的一个或者几个小时罢了。

在海上航行的船只，向东行时，每经过一时区，船上的钟就要拨快 1 小时；向西行时，每经过一时区，就要拨慢 1 小时，这也没有什么不便〔可是这个规则一般只用于军舰，而不用于商船上〕。在陆上疆域不大的国家里，如法国、意大利、西班牙、德国等，它们的国土大部分处在某一时区，但也没有硬性规定它必须属于某一时区。例如上面说过的，法国从 1911 年属于 0 时区，可是从 1940 年以来改属于 1 时区。经度宽广的国家，如美国、加拿大和俄罗斯，它们便把自己的领土分为若干个时区〔我国在新中国成立以前也把全境分为长白、中原、陇蜀、回藏、昆仑五个时区。新中国成立后全国一律用中原时（即 8 区时，比格林尼治快 8 小时），大家把它叫做“北京时间”。——译者注〕。

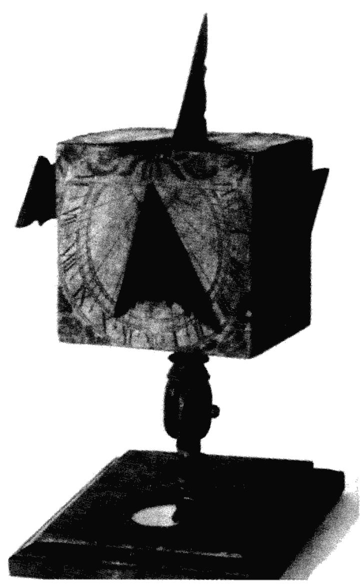
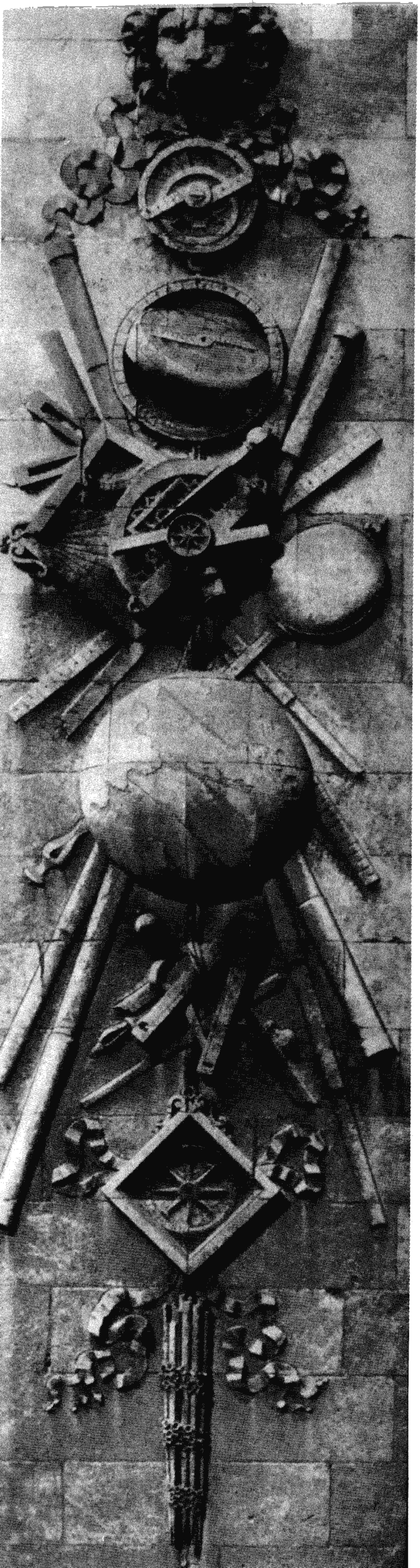


**图 27　便于携带的日晷**

形状是立方体，五面刻有花纹。一面向东，一面向西。利用铅垂线，使上面倾斜，以适应观测地的纬度，现藏弗拉马里翁天文台博物馆。

天空是一座天然的时钟，观测者用精确细致的仪器（图 25、27），就可以读出时刻来。但是这个时刻只确切地表示在观测时的那一瞬间，需要把它保留下来，



天文学家别致地把这叫做守时。工业和技术的发展，最明显地表现在时钟改进的历史上。公元前16世纪已有漏钟，这是一个盛水的器皿，下面钻有小孔，让水缓缓滴出，一根立在它浮标上的针用来表示时刻。伊斯兰教教主拉西德(Harounal-Rachid)献给法皇查理大帝的漏钟，可称为中世纪的奇迹〔我国很早就用漏壶来计时，现存于中国历史博物馆中的一套完整漏壶制造于1316年。——校者注〕。

用重锤的机械钟出现于13世纪，但是它的行动没有规律，一直到1657年才被惠更斯(C. Huygens)发明的摆钟所代替。从那时起，时钟在天文台占有重要的地位。现今，天文台主要的摆钟守时的精确度很高，一日仅差千分之一秒或千分之二秒。但是，电钟有代替摆钟的趋势。石英钟的主要部分是一片在交流电场内振荡的棒状或者环状的晶体。一架好的石英钟，守时的误差值在一日内还不到万分之一秒。天文观测要达到这样高的精确度，还需要作更多的努力。

可是在平常的生活中，一般人并不需要这么高的精确度，巴黎天文台装置的说话钟，便可以满足他们的需要。这座钟上有一根特殊的电话线和巴黎市民通话。广播电台每天也转播几次。这座钟的主要部分有二：其一是高度精确的摆钟，因摆动使电接触，发出极短暂清脆的时号；其二是像电影一样，在每一时号发出之前先报告时、分、秒。这座钟每天经人校准数次，时号发出的精准度达百分之一或百分之二秒。

石英钟自然不是工业上登峰造极的成就。物理学家现已不用摆或石英的振荡，而用发射或吸收比较低频辐射的分子或原子的振荡来制造时钟。根据这个原理，利用气体阿莫尼亚的分子或铯原子的特性，已经造出分子钟或原子钟，此外，还有更精致的实验在进行中。现今，

**图28　17世纪所用的天文仪器和测量仪器**
巴黎天文台门额上的浮雕(1667)。

精确度达每日万分之一秒的石英钟，在不久的将来一定会被原子钟所超过。有人或许会问：为什么要这么狂热地去追求天文观测绝对不能达到的精确度呢？

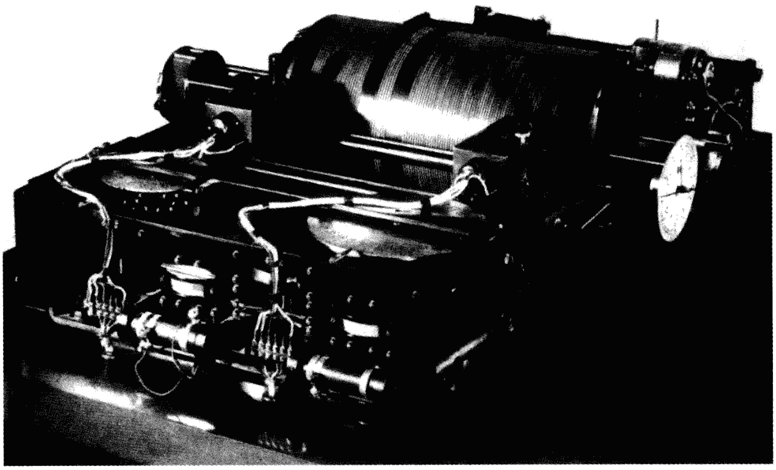


**图 29　巴黎天文台的说话钟**

每 10 秒钟发一声响(第 50 秒钟除外)，由天文摆钟控制。这具说话钟报告时、分、秒是由卷在滚筒上的二三套声带发出的，每一带上附有光电接收器。

自开普勒以来，有些大胆的聪明人，时常觉得没有一种高度精确的标准去核校地球的自转运动。地球自转的绝对均匀性这一概念，像是亚里士多德学说的残余，一直到最近几年以前为止，它一向是被人盲目地信服着。1687 年，牛顿曾说："可能没有绝对均匀的运动可以作为时间量度的标准。"过了一个世纪，拉朗德(Lalande)断言：假使有足够完善的时钟，我们便有方法找出地球自转的微小的不均匀性来。这个预言久已被人遗忘，直到最近才得到了明确的证实。今天，已经没有人相信地球像一个理想的刚体那样，均匀地绕着自己的轴旋转，我们已经知道怎样测定它运动的不均匀性。首先，由于日月的吸引而引起的潮汐，对地球起了一种抑制的作用。它自转的周期，我们大约定为 86 164 秒，在每年里，增长 0.001 64 秒。你们或许说，这种变化真是太渺小了。不错，可是这样积累的效果是随时间的平方〔这是因为地球自转周期的增长率与时间成正比。——译者注〕而增加的。自从古希腊有名的天文学家喜帕恰斯(Hipparque，旧译伊巴谷。——译者注)以来，地球的自转已经慢了 3 个小时之多。换句话说，假想有一架钟，为喜帕恰斯测定的太阳日的长短所校准，那么，今天这架钟在我们中午的时候，就要指着 15 时(午后 3 时)了。自然，人类用手所做的钟不可能经过 20 个世纪而不损坏，但是有一架绝不受时期影响的天然钟，那便是在其轨道上运行的月亮。如果从古代的月食所观测的时刻出发，计算现在月食发生的时刻，比起实际的时刻要早几个小时。这便是地球的自转变慢所产生的效果。

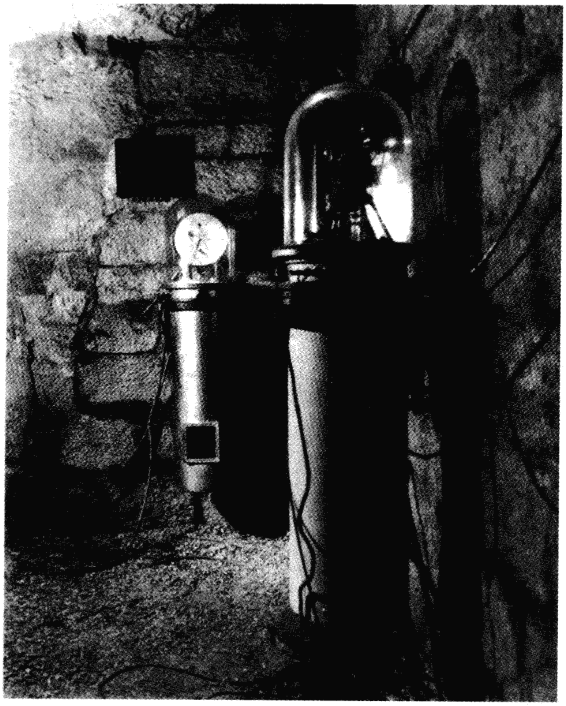


图 30　巴黎天文台的天文摆钟

这摆钟装置在地下 28 米的地窖里,借以避免温度的日变与年变。这些钟放在紧密封闭的筒内,部分抽空,保持气压不变。因摆的摆动,每两秒内有一次电接触,将信号传达到观测地区去。

不仅如此,除了因潮汐引起的这种长期的缓慢的变化以外,还有一些经现代天文学家证明确实存在的奇怪的变化,只是原因还不明白。我们转动的地球好像一架质量不好的时钟,它的轮机是被一个拙劣的钟表匠制造拼合成的,它无故地有时快来有时慢。在 1680 年,它快了 20 余秒;一个世纪以后,它却慢了 30 余秒。自一个半世纪以来,地球有转快的趋势,可是相当不规则。从 1920 年至 1950 年,它平均每年快半秒,但是在 1873 年 1 月 1 日和 12 月 31 日之间,它快了将近 2 秒。这些变化,天文学家因为不知道原因,所以不能预测。这些变化也许是与深层的地质现象有关。另外,还有一些相当有规则的季节变化,好像是受了地面气象的影响。地球的自转在 3 月里要比在 9 月里稍微缓慢一点。地球自转的周期,全年的总变化是千分之二秒。这些季节的变化是将天文的时刻和极好的时钟的时刻加以比较而发现的。由此可见,我们今天已有比地球自转还更均匀的时钟——拉朗德的希望终于实现了。

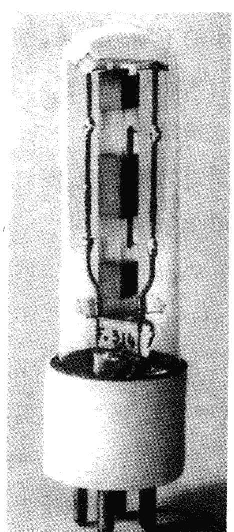


图32　石英钟内的石英片

封闭在密封的真空玻璃管内。安装在石英晶体上的电极作成一个交流电场,以维持晶体每秒10万周的振荡。分频器将频率减至每秒千周,然后再由钟以交流电输出。(图31已删掉。——译者注)

但是有人会说,这些不能解释的变化,是不是破坏了规定天象不变的天体力学定律呢?只要举一个简单的例子,便可以消除这个疑团。假设

地面的温度增高，使两极地带的巨大冰雪完全融化，这些融化了的冰流入海洋，使水面增高，甚至汹涌在赤道区域。力学告诉我们，在这种情形下，地球的自转将会变慢，一日的周期将会变长一点，可是地球绕着太阳的公转却没有改变，因此，一年的周期没有变化。由此可见，用年的周期作为时间的标准，比用日的周期更为准确些。

## 年　和　历

地球绕地轴周日旋转和绕太阳的周年公转是两种绝对独立的运动，两者之间并无共同之处。一年并不刚好有若干个整日。地球绕着中央的星（太阳）所需的时间不恰好是365日，也不是366日，而是365 $\frac{1}{4}$ 日。所以每四年内应有一年是闰年，该年366日，其余三年都是365日。1/4这个数字也还是近似值，在365上所加的不应该是1/4。如果连续在若干世纪中每四年均置一闰，结果便会矫枉过正，不久我们的时间便将比自然慢了。

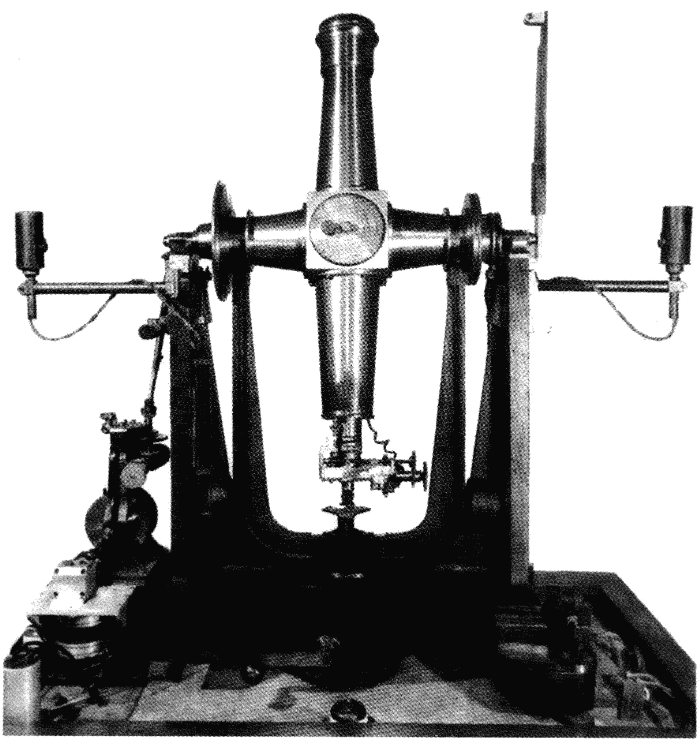


图33　天文测试用的子午仪

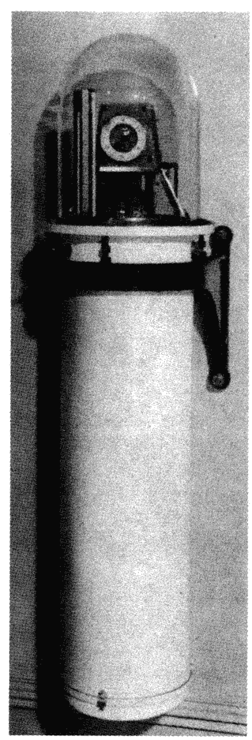
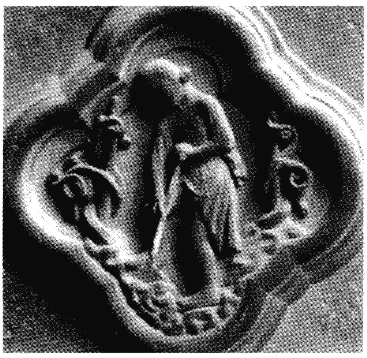
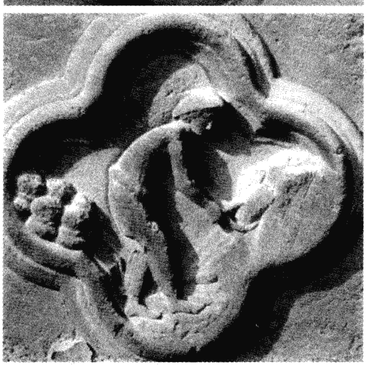


图34　恒压的天文摆钟


实际上也的确发生了这样的事。教皇格列高利十三世因历法和天象不合，才于1582年改订了历法。在那一年里规定，把自儒略·恺撒以来积累的10日减掉，因为儒略历于公元前1世纪制定时，将先前365日的一年加上1/4日，换句话说，即在四年内置一个366日的闰年。16世纪的天文学家解决了这迟慢的问题，将1582年10月4日星期四以后的一天叫做10月15日星期五，而且为了避免再发生这样的差异，规定每逢百的四年之中三年不置闰。因此，1700年、1800年、1900年在儒略历是闰年，在格列高利历不是闰年，但2000年又将是闰年。只有能被400除尽的年，如1600年、2000年、2400年，才有闰年。格列高利历起初仅流行于信奉天主教的国家，别的国家因宗教和政治的缘故不采用，直到最近才采用这个改革过的历法。它们宁可与自然不合，不愿与教皇相合，在1700年、1800年和1900年仍然列为闰年，因此它们的历法竟又慢了13日。幸而今天格列高利历已经被普遍采用了。

一年的长短更确切的值是365日5时48分46秒，或者365.24220日。这一周期叫做**回归年**，即季节循环的周期，也是太阳在天空中视行来回的周期。表现在自然现象的变化上面，在我们看来，这才真算是一年，是规定气象、农业、民事的一年。可是回归年却不正好是地球围绕太阳运行的周期。因为我们在前章已经说过，以后还要详细解释的二分点的进动(岁差)的缘故，一年以后，太阳再回到春分点时，地球还须走20.5分的时间，才达到它完全环绕太阳一周所出发的那一点。

地球的天文周期，或者叫做**恒星年**，是365日6时9分11秒或365.25636日。

图35至图38　从上到下为：12月(烤火的人)，3月(翻土的农民)，7月(收获)，10月(榨葡萄汁)(阿米原教堂的浮雕)

在查理大帝时，在法国和法国管辖的地方，岁首规定在基督诞生日。这一天同时庆祝元旦和圣诞。更合理和更好的办法是把岁首放在冬季结束而太阳北返的时候，换句话说，就是把岁首放在春分日，即现在的3月21日，或者像2000年前那样，把岁首放在3月1日。从前的人在最适宜的季节里过新年（至少在北半球是这样的），可是现在却在寒风刺骨、雨雪交加、风景萧条的日子里去祝贺新年！自查理九世于1563年命令以圣诞节后一星期为岁首，法国沿用至今已有300多年的历史了。1752年英国采用这个日子时曾发生了一场骚乱，因为那年的岁首由3月25日移至1月1日，妇女们感觉她们一下子就老了三个月。改革历法的人虽殷勤解释，也不能获得她们的原谅；工人们也以为在一年里丢掉了三个月，在没有明白这只是一个表面现象以前，也引起了骚动。市民们在伦敦街道上向吉斯斐耳德爵士呼叫："还给我们三个月来！"那时英国的历书上保证新历并不违背自然，甚至说："即使是猫，它在旧历岁首怎样扑地，在新历岁首也还是一样。"这些幼稚的故事和罗马人把每四年加在2月里的闰日叫做"双六日"一样的可笑。由于这种"偷天换日"的办法，2月总是28天，借此以免亵渎神灵而给群众带来的灾祸。这一个附加的日子就这样隐藏在另外两个日子里，神灵便看不见了。

不但岁首放在1月1日既不合理又不妥当，而且将原来的月序也弄乱了，更增加历法上的紊乱。罗马人的岁首是3月1日，12个月的分布如下：

| 月序 | 名称 | 意义 |
|---|---|---|
| 1 | Martius | 纪念战神 |
| 2 | Aprilis | 意指开发 |
| 3 | Maius | 纪念玛亚(Maia)女神 |
| 4 | Junius | 纪念司婚女神朱诺(Junon) |
| 5 | Quintilis | 第五(月) |
| 6 | Sextilis | 第六(月) |
| 7 | September | 第七(月) |
| 8 | October | 第八(月) |
| 9 | November | 第九(月) |
| 10 | December | 第十(月) |
| 11 | Januarius | 纪念两面神雅努斯(Janus) |
| 12 | Februarius | 纪念斐布儒斯(Februus) |

第一月是纪念罗马人的最高守护神战神，最后一月是纪念死者。五六两个月因尊重儒略·恺撒和奥古斯都两位皇帝，已改名叫做Julius和Augustus了。后来的罗马皇帝，如提比略(Tibère)、尼禄(Néron)和康茂德(Commode)都想把自己的名字改作以后的几个月的名称，然而没有成功。






到了今天，原来的7月变成了我们的9月，8月变成10月，9月变成11月，10月变成12月，即最后的一月了。你想还有比这样安排月份的方法更荒唐的吗？这一切的混乱，都是因为把岁首从春光明媚的3月移到一般说来是萧索愁苦的1月去的缘故。由此可见，现行的月的名称起源于罗马，既不是基督教国家的历法，也不合它原有的意义，因为它经过了颠倒错置，而且不与气候的变化相合，只有1789年法国大革命时代所颁布的共和历，才弥补了气候变化这一点。每一年的三个月都有同样的语尾，都和气象或农业发生联系，真正做到音义均佳的程度。酒月是在收获葡萄的时候，霜月下霜，雨月多雨，萌月、花月、草月是代表在春季欢乐的太阳下跳舞的女神。下表记载共和历12个月和格列高利历相当的时期：

| 共和历 | 和格列高利历相当的月日 |
|---|---|
| 酒月 | 9月21至10月20日 |
| 雾月 | 10月21至11月19日 |
| 霜月 | 11月20至12月19日 |
| 雪月 | 12月20至1月18日 |
| 雨月 | 1月19至2月17日 |
| 风月 | 2月18至3月19日 |
| 萌月 | 3月20至4月18日 |
| 花月 | 4月19至5月18日 |
| 草月 | 5月19至6月18日 |
| 获月 | 6月19至7月17日 |
| 热月 | 7月18至8月16日 |
| 果月 | 8月17至9月20日 |

共和历各月的日期随春分日而有改变。每月规定为30日，平年加例外日5日，闰年加例外日6日。这样已经是复杂的了，而且还把这些例外日命名为“共和党人日”。不幸的是以气候命名的这些月份既不能适用于南半球，也不能适用于北半球的一切地方，因此共和历不具有世界性。所以除法国以外，共和历从未被人使用，而且从1806年以后就废止了〔现行历法既不合理又不完善。如果保存月的名称，每年应该从3月1日开始。如果以1月1日为岁首，便该更改月的名称。28日的一月安插在两个31日的月中间，像什么样呢？这种历法里每月的日序和星期的周序不合，每月的任何一天可以是星期里的任何一天，一件历史的或个人的事件发生在星期日的，可以在以后每年的任何周日来纪念它。我们可以避免这个混乱，可以建立一种均匀的永远是一样的年的历法。只需将1月1日当做是节日，不列入月序和周序里(闰年则有这样两个节日)〕。

图39至图42　共和历(从上到下)：草月、获月、雾月、风月



**图 43　海上的落日**

太阳因大气折光而呈现扁圆形。

# 第三章

# 地球怎样围绕着太阳转动

以上我们讨论了地球的自转和由自转所产生的影响，并且也提到了由于地球绕日公转而来的一年的日数。我们现在继续分析这两种运动，因为这是自然科学的基本常识。

我们居住的这颗行星，在空中沿着围绕太阳的一条轨道而飞驰。尽管有昼夜循环、冬去春来、花开果落、世代更替、民族消长、世纪飞跃等这些变化，可是地球仍然是在无休止地运转着。地球围绕着发射热和光、位于它的轨道的焦点上的太阳而运行，由此引起了气候的差异和季节的变迁。在两极地区，倾斜的太阳只射来微弱的热和暗淡的光。在这些凄凉的地方，旅行家看见在漫长的黄昏中间或露出一些明亮的极光。至于在赤道地带，灼人的阳光当头直射，在这样炎热的地面上长满了茂密的植物。由此可见，太阳造成了气候和季节。

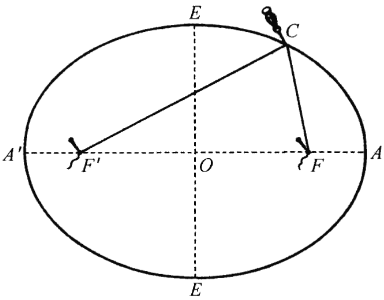



**图 44　怎样画椭圆**

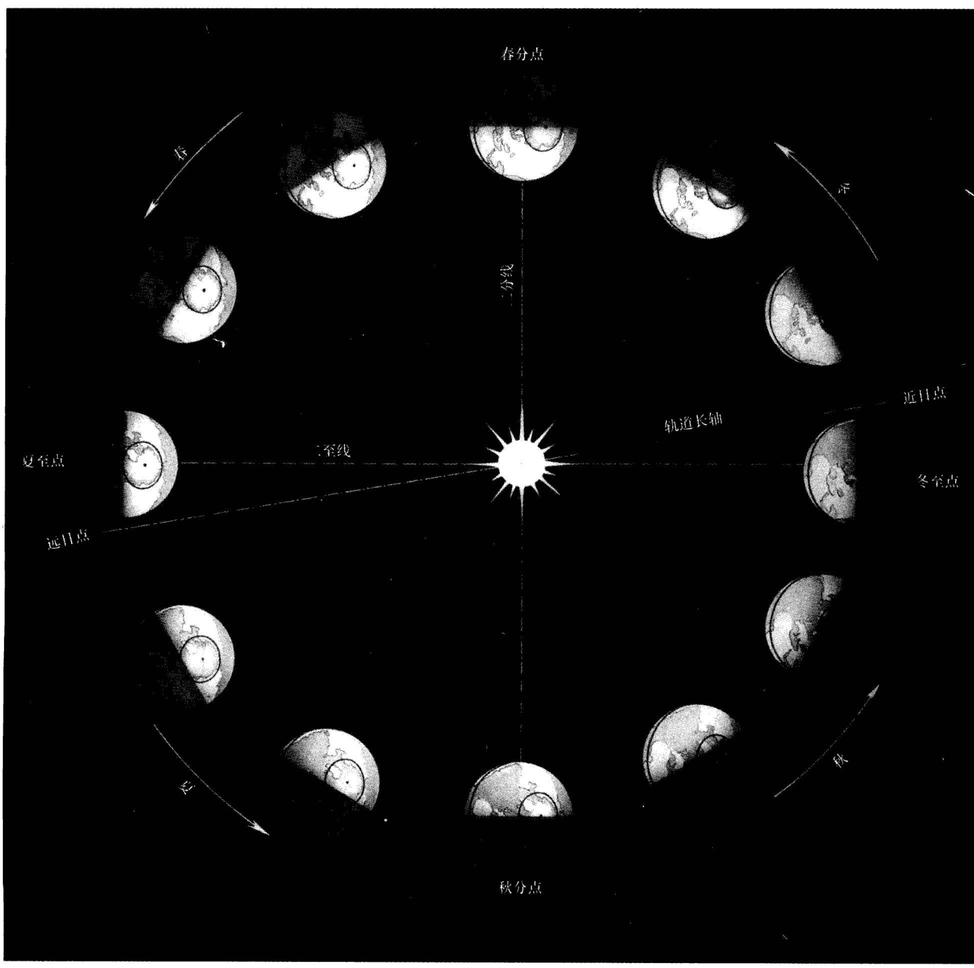
地球绕日的周年轨道，我们已经说过，不是正圆而是椭圆。大家知道怎样画一个椭圆。最简单的方法便是园丁所用的方法。先在地上钉上两根木桩（图 44），再系上一条比

两根木桩之间的距离长一些的绳子，于是用一根针把绳子拉紧，随着这根针尖在地上运动，所绘出的曲线便是椭圆。这两根木桩越是互相接近，这个椭圆越是接近正圆；反之，两根木桩越是彼此离开，椭圆越显得扁长。一切天体的运动所沿的轨道都不是正圆，而是椭圆。木桩所在之点叫做椭圆的焦点（图中的 $F$、$F'$ 两点）。椭圆的中心在 $O$，直径 $AA'$ 叫做长轴，直径 $EE'$ 叫做短轴。我们把地球绕太阳所走的椭圆轨道叫做地球轨道，太阳就在这个椭圆轨道的一个焦点上。因此，地球和太阳之间的距离在一年里随时变化。每年 1 月 2 日地球和太阳最接近，7 月 2 日离得最远，这两点分别叫近日点和远日点（图 45）。地球在这两点时和太阳的距离是：

近日距离……………………………1.471 亿千米（1 月 2 日）
平均距离……………………………1.496 亿千米（4 月 3 日，10 月 1 日）
远日距离……………………………1.521 亿千米（7 月 2 日）

图 45　地球围绕太阳的周年运动

这是一年内地球接收日光的情况。为了清楚起见，图中表示的地球和太阳的大小是与实际不相符合的。



由此可见，地球在近日点比在远日点，即在1月初比在7月初要接近太阳约500万千米。所以，就整个地球来说，在1月中，地球接收更多的热。那时北半球正在严冬，南半球正在盛夏。事实上，在1月里，日光斜射北半球，热力薄弱，并且昼短而夜长；反之，在南半球日光差不多直射地面，并且昼长而夜短。相反的情形将发生在7月内。这样看来，南半球在夏季因地球更接近太阳，好像要比北半球的夏季更热一些。但是两半球的气候情况是难于比较的，北半球多大陆，南半球多海洋。此外，我们将要看到，地球绕太阳的运动在近日点比在远日点快，因此，在北半球有186日昼长于夜，在南半球只有179日昼长于夜。总之，两半球的气象不能预先机械地加以区别。

## ◀ 地轴的倾斜 ▶

读者由图45可以明白地球是怎样绕着太阳在转动。首先，你可以看见地球常保持它的自转轴平行的特点，在空间里保持一定的方向，这自转轴不是和黄道面正交，而是斜交成66°33′的角。南极或北极在6个月里被太阳照着，在另6个月里太阳照不着它。在两分日（春分、秋分）被照着的半球的分界圈恰好通过两极，因此可见，在全球各地，昼夜平分，各为12小时。但是，愈接近夏季，因地轴的倾斜使阳光愈照射到北极的那一面，于是北半球各地白昼越来越长，黑夜越来越短。如果我们研究一下地球在冬季的位置，情形恰恰相反。例如在巴黎，6月里昼长16时，夜长8时，而12月里昼长8时，夜长16时。越是接近北极，昼夜的差异越大。一到了北极，如果不计算黎明和黄昏，则那里6个月全是白昼，6个月全是黑夜。在南半球某一纬度的地方，6个月前或后所发生的现象和北半球在同纬度的地方所发生的现象是相同的。

因地轴倾斜所造成的昼夜长短的不同，随我们所居处的地方而有差异。赤道上每天总是昼长12时，夜长12时。在离北极等于黄赤交角23°27′的地方，或者说，在北纬66°33′的地方（因为从赤道到北极是90°），在夏至日太阳便不下落，在半夜的时候，太阳只在北方的地平线上溜过。从这个纬度的地方以至北极，太阳没有起落，在越是接近北极的地方，发生这样的情形的日子也就越多。

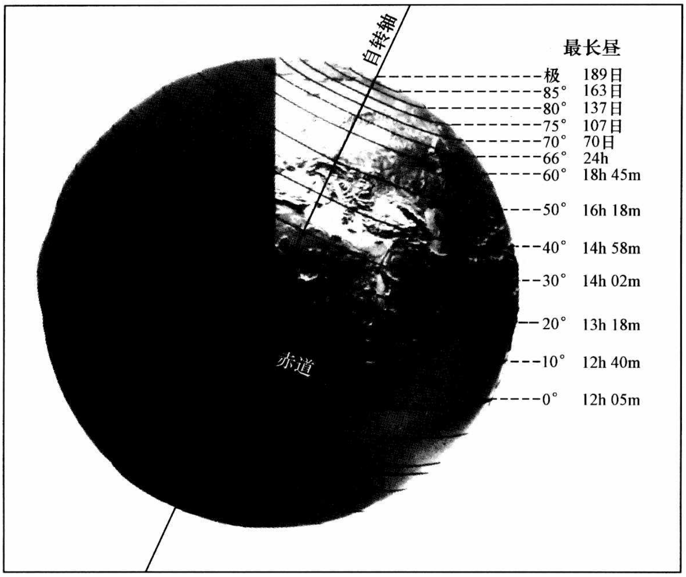



图 46　北半球各纬度圈上最长的昼(6 月 21 日，图中 h 为小时，m 为分)

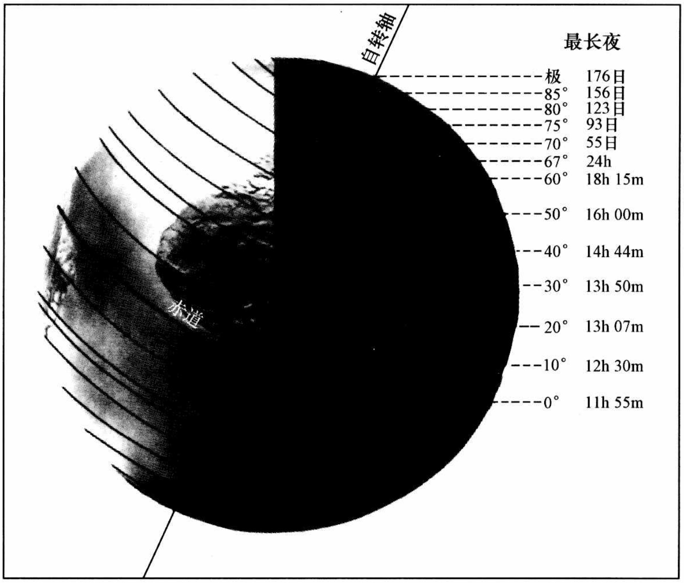



图 47　北半球各纬度圈上最长的夜(12 月 21 日，图中 h 为小时，m 为分)

法国的纬度范围是自 42°至 51°，巴黎是 48°50′。那里最长的白昼是 15 时 58 分，最短的白昼是 8 时 2 分。在这些由于几何学的原因而来的数值上，还必须加上因大气折光抬高了天体的真实位置而来的数值。大气折光的作用使我们在太阳出升到地平线以前，便已看到它升起，而在太阳下落以后，看到它还没有落下。于是，在巴黎最长的昼是 16 时 4 分，最短的昼是 8 时 8 分。因大气被曙暮辉照明的缘故，更增长了昼长。太阳在地平线下 18°的时候，上层大气还被阳光照着，于是便产生了一种奇特的现象：在巴黎 6 月 21 日，太阳向西北方斜斜地落下，第二天早上再从东北方升起，可是在半夜，太阳恰在正北方的时候，它只在地平线下 17°43′。因此在夏至日，巴黎没有全黑的夜晚，换句话说，就是黎明和黄昏连接在一起了。



图 48　欧洲极北拉普兰的半夜的太阳

人们越向北去，这种效果越是显著。在斯德哥尔摩（Stockholm），6 月 21 日半夜还相当明亮，人们可以写字。

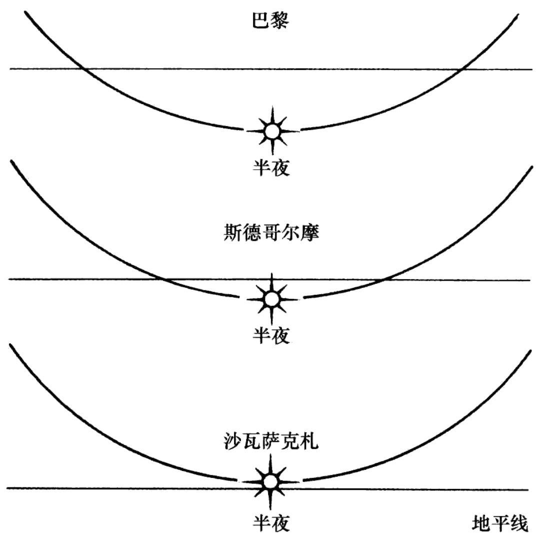



图 49　半夜的太阳

夏至日（6 月 21 日），在巴黎半夜时太阳在地平线下 17°43′，整夜有微弱的光亮；在斯德哥尔摩，太阳在地平线下只有 8°18′，夜里还是很亮的黄昏；在极圈外的拉普兰，太阳不落，半夜当太阳处于最低位置时，它仍然在北方的天上放光。

因大气折光的缘故，我们用不着到北极圈便可以看见太阳不落，在半夜，它掠过地平线又升上来。在瑞典和芬兰纬度 66°的地方，人们可以看见我们认为是奇景的半夜的太阳（图 48、49）。

下表记载南北几个纬度圈上的昼长，表内的数字已经把大气折光的作用计算在内：

| 北纬或南纬 | 最长的昼 | 最短的昼 |
|---|---|---|
| 0° | 12 时 5 分 | 12 时 4.5 分 |
| 10° | 12 时 40 分 | 11 时 30 分 |
| 20° | 13 时 18 分 | 10 时 53 分 |
| 30° | 14 时 2 分 | 10 时 10 分 |
| 40° | 14 时 58 分 | 9 时 16 分 |
| 45° | 15 时 33 分 | 8 时 42 分 |
| 50° | 16 时 18 分 | 8 时 0 分 |
| 55° | 17 时 17 分 | 7 时 5 分 |
| 60° | 18 时 45 分 | 5 时 45 分 |
| 65° | 21 时 43 分 | 3 时 22 分 |
| 65°59′ | 24 时 0 分 | 2 时 30 分 |
| 67°7′ | | 0 时 0 分 |

下表记载极圈内各地昼长及夜长(极昼和极夜),即太阳常在地平线上不落下,或者常在地平线下不升起的日数,这些数字已将大气折光和地球轨道偏心率的作用计算在内,因偏心率的缘故,这些数字对于北纬或南纬是有一些差异的:

| 北纬 | 极昼 | 极夜 | 南纬 | 极昼 | 极夜 |
|---|---|---|---|---|---|
| 70° | 70 日 | 55 日 | 70° | 65 日 | 59 日 |
| 75° | 107 日 | 93 日 | 75° | 101 日 | 99 日 |
| 80° | 137 日 | 123 日 | 80° | 130 日 | 130 日 |
| 85° | 163 日 | 150 日 | 85° | 156 日 | 158 日 |
| 90° | 189 日 | 176 日 | 90° | 182 日 | 183 日 |

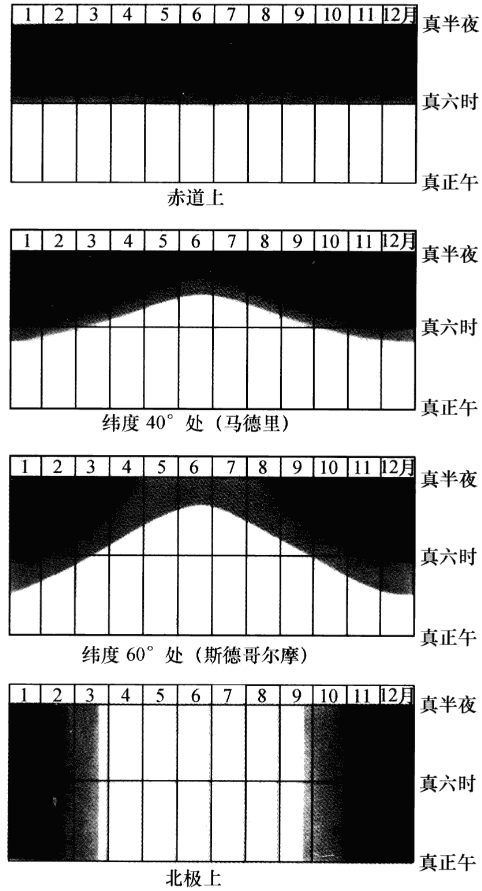



图 50　一年内各月各纬度处昼、夜、曙暮辉的长短比较

图 50 的四个分图表示在四个不同的纬度上一年内昼夜长短的分布。图中黑影表示黑夜,半影表示曙暮辉,白色表示白昼。横标表示 12 个月。

首先,我们可以看见,赤道上昼夜总是一样长。在北极那一个图上却表现为另外一个截然不同的现象:6 个月的白昼随着 6 个月的黑夜。

愈近北极,曙暮辉增加愈快,因此,实际上有极夜的日子比没有大气情况下的极夜要少得多。

自纬度 67°以上,冬至日太阳便不升起。两天、三天以至一个星期过去了,在中午的时候,太阳也不会在南方地平线上升起。更往北去,一个月、两个月不见阳光,世界埋藏在冰雪的黑夜里,只被月亮或间歇的极光照着。太阳不在了! 漫长的黑夜继续几周以至于几

个月之久！极地的探险家对于这种漫长的极夜描写出异常动人的情景。

美国人皮里(Robert Edwin Peary)经过23年的奋斗，向北极区作了八次探险以后，终于在1909年4月6日到达了北极，在那年3月里还遭遇到摄氏〔表示温度的摄氏温度计(℃)，又称百度温度计。在这种温度计上，0℃相当于冰的融解(在华氏温度计上为32℉)，100℃相当于水的沸腾(即华氏温度计212℉)〕零下59度的寒冷。到过南极的斯科特(Scott)船长在旅行日记里记载

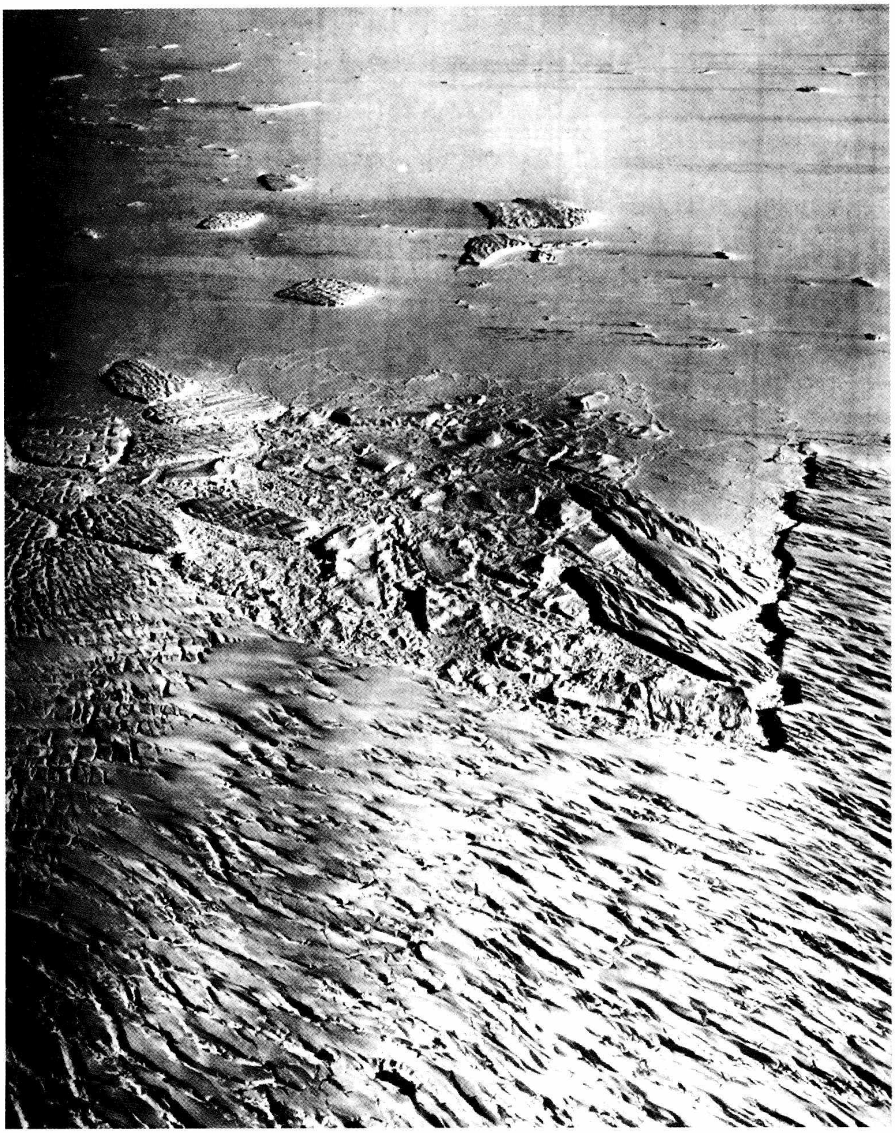


图51　**极地风光**

冰雪崩裂的情况。

过 －44℃ 至－30℃的气温，再加上强烈的冰风，使得严寒的伤害更难以忍受。他的一个分队于 1911 年 8 月在罗斯(Ross)大冰障，甚至遭受到－60.5℃的恶劣气候。

南极在高 3 000 米的广大高原之上，可是在北极，北冰洋的深渊下陷到 3 000 米深度。

美国海军上将伯德(Richard E. Byrd)曾经到过南北两极。1926 年到北极，1928 年至 1930 年间曾两次到南极，1935 年又去过第三次。他曾说过："到达极点并不算得了什么，有价值的是你途中所搜集的科学资料；还有一件事，那便是你到了那里，而没有死掉。"这位探险家在 1934 年南极的黑夜里，在纬度 80°8′处建起了他的观测站，地点是在罗斯冰障漆黑的大平原上。他曾经在 1934 年 4 月 14 日的日记上写道"进行了零下 89°的日常散步"，这是就华氏温度表来说的，相当于－67.2℃。他在下面还写道："我站着细听，四周非常寂静。我呼出的热气透过两腮的时候结成了晶体，好像是一股清凉的微风。验风机对着南极，一瞬间它们都不动了，表示寒冷已'冻死'了风。我呼出的热气凝结了，悬在头上好像一片浮云。"

他常记录－56℃甚至－62℃的气温。在他的帐幕里，他有时候必须忍受－54℃至－40℃的寒冷(7 月 7 日)。

再提一下探险家阿蒙森〔Amundsen，挪威极地探险家。读者有兴趣的话，请参阅《阿蒙森——著名的极地探险家》一书，苏联，雅柯夫涅夫著，滕砥平译，中国青年出版社出版。——校者注〕，他在 1904 年在北磁极曾遇到－61.5℃的最低温度。但这还不算是人类记录过的最冷的气温，最低气温的记录是在北纬 67°、东经 134°的西伯利亚的一个小城上扬斯克，那里的气温是－69.8℃。

地球赤道相对于地球运行轨道倾斜的效果，使我们将地球分为五带(图 52)：(1) 热带——这是赤道两边两条回归线，即南北纬 23°27′之间的地带，那里的人在一年中的某个时期里看见太阳经过天顶；(2) 温带——这是包括两条回归线与南北极圈之间的两地带，这里太阳绝不会过天顶，而且每天必定落下；(3) 寒带——这是围绕两极，以纬度 66°33′为界限的两地带；那里在冬至日或夏至日期间，太阳连续几天常在地平线上或地平线下。如字面所表示的，热带气候炎热，因为那里的阳光差不多是直射的；在温带，气候温和，因阳光比较斜射，四季比较显著；最后所说的寒带，真是冰雪严寒，因为阳光仅从地面掠过，每年中有一个时期完全被黑夜笼罩着。

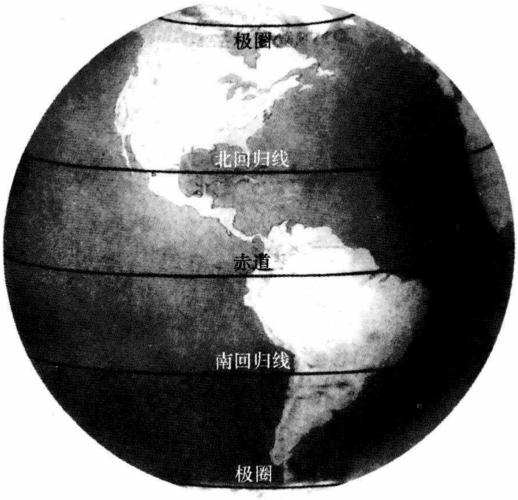



图 52　地面的五带

图 53　圭亚那的热带



图 54　温带的一个人口稠密区



这些区域的大小是很不相等的，热带占整个地球表面的40%，南北两温带占52%，至于南北两寒带，仅占8%。所以，最适宜于人类居住的、文化生活发达的两个温带占地面一半以上，不可居住的寒带，仅占地面很小的一部分。

## ◀ 季节、气候 ▶

我们现在来讨论地球围绕太阳的运动。

地球因受太阳引力的控制而围绕着太阳公转，这个伟大的球带着我们绕圆圈，7月在远日点，比1月在近日点的运行要迟缓一些。地球每年所运行的轨道全长约9.4亿千米，所用时间为365日6小时，所以它每小时运行10.72万千米，每分钟行1786千米，每秒钟行29770米（约30千米），这都是以它的平均速度来说的。至于它的瞬间速度，由7月2日的每秒29270米增加到1月2日的每秒30270米。所以，在地球围绕自己的轴转一周的期间，它在它的轨道上走了它的直径的200倍那样长的距离！在一小时里，它走了它的长12740千米的直径的$8\frac{1}{3}$倍（图55）。这种运动，比速度最快的炮弹还要快30倍，真可以说快得难以想象了。如果地球骤然停止不动，它便会立刻燃烧，那将是一场巨大的火灾，会毁灭了这个世界。因此，地球不能在它的前进中停止，即使发生了这样的事，也不会成为历史，因为那时再不会有人来叙述这个史实了。

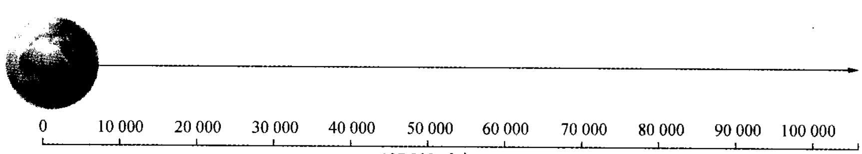



图55　一小时内地球在它的轨道上所走的路程

我们知道，地球在它的轨道上，由春到秋所走的那一段路程，比由秋复回到冬所走的那一段要长一点。这就是说，春夏两季比秋冬两季要长一点，这是因为地球在夏季比冬季运行得要慢一些。下表记载了四季的长短（误差在1小时以内）：

| 季节 | 日 | 时 | 合计 |
|---|---|---|---|
| 春季…… | 92日 | 19时 | 共186日10时 |
| 夏季…… | 93日 | 15时 | |
| 秋季…… | 89日 | 20时 | 共178日20时 |
| 冬季…… | 89日 | 0时 | |
| 全年 | 365日 | 6时 | |

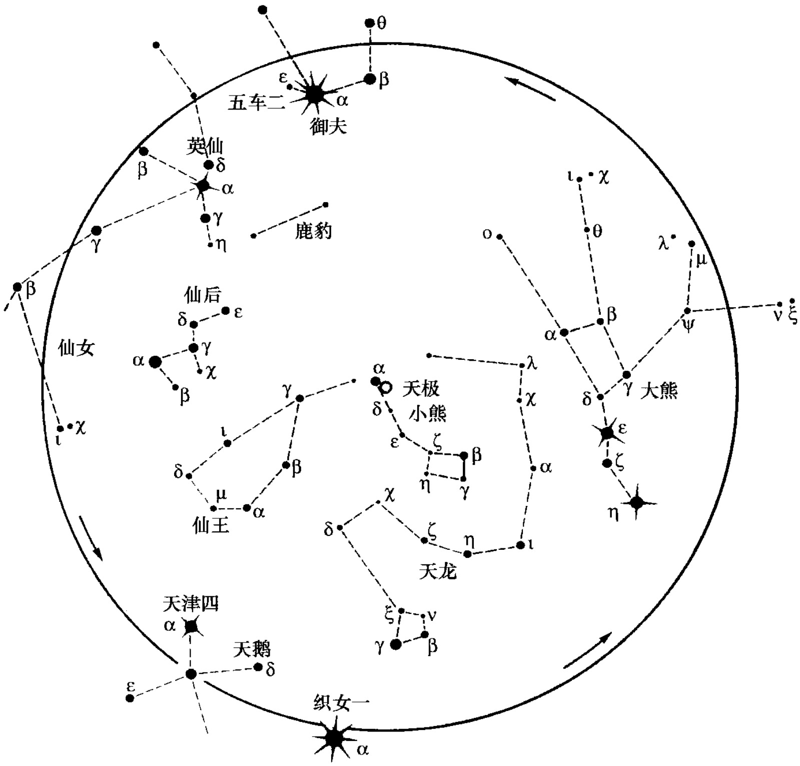



**图 56　通过巴黎的纬度圈上的拱极星图**

这些星从来不会落到巴黎的地平线下面。

我们常用希腊字母代表恒星。读者中不认识这些字母，以为这是一种难以克服的困难。其实这是很容易学习的。我们在下面列出这些字母的写法与发音，只要仔细学习十分钟，你在星图上就会辨认出这些字母。

| | | | |
|---|---|---|---|
| α 阿尔法 | η 伊塔 | ν 纽 | τ 陶 |
| β 贝塔 | θ 西塔 | ξ 克西 | υ 宇普西隆 |
| γ 伽马 | ι 约(yāo)塔 | ο 奥米克戎 | ψ 斐 |
| δ 德尔塔 | κ 卡帕 | π 派 | χ 希 |
| ε 艾普西隆 | λ 拉姆达 | ρ 柔 | φ 普西 |
| ζ 泽塔 | μ 谬 | σ 西格马 | ω 奥米伽 |

每一个星座里最亮的星，以第一个字母命名，有时也有一个专名，例如天狼、织女、大角、五车二等。

因此，在一年中，太阳在北半球比在南半球要多 8 天。因近地点相对于春分点的运动，四季的长短有一种缓慢的变化，当这两点相重合的时候，春与冬同长，夏与秋亦同长。在 1250 年，近地点与冬至点相重合，秋与冬同长，春与夏也同长。

天文的四季开始于两分日和两至日，换句话说，即 3 月 21 日和 6 月 21 日，9 月 23 日和 12 月 21 日，因年份不同，可有一两日的差异。这些日子应该是代表每一季的中间日子，因为从 6 月 21 日起白昼虽然减短，从 12 月 21 日起白昼虽然加长，可是在夏至日以后，因热气逐日积累，温度仍在升高；相反，在冬至日以后，温度仍在降低。每年最热的日子在 7 月 15 日左右，最冷的日子在 1 月 12 日左右，可是这两个日子随年份不同而大有差异。同理，每天最热在午后 2 时前后，最冷在早晨 4 时前后。

可以想象将地球的自转轴延长到天穹上去，就可表示出天上的北极，布满繁星的天好

像围绕着这一点在转动，其方向正与地球自转的方向相反。和这一点最接近的星叫做"极星"。从现象上看，所有的星都围绕着北极在转动，当我们望着北极时，这种每日一周的运动是逆时针方向的。星和极的距离如果小于北极距地平线的高度，星辰便不会落下，它们从西方的地平线上掠过，又从观测者的右手或者东方升起。图 56 表示巴黎的纬度圈上所能看见的几颗主要的星〔相当于中国东北北部一带地区所能看到的星空。——校者注〕。这个小星图对于我们很有用，一方面，向我们表明了绕极繁星的运动，另一方面，也使我们有一个在我们的纬度处永远可以看见的星座的形象。为了避免复杂化，我们只绘出了主要的几颗星。我们可以很快地辨认这些北天星座：最接近极的是小熊座；大熊座由明亮的七颗星组成，又叫做车子，是很容易认识的〔我国叫做北斗七星。——校者注〕；天龙座在大小两熊座之间，呈蜿蜒的形态；此外还有仙王、仙女、英仙和鹿豹等几个星座。以后我们还要讨论怎样认识这些星座和别的星座。读者现在就可以开始去认识这些星座，只需在一个晴夜，望着北方，就很容易找着它们，且很快就会熟悉的。

以图上的北极为中心，这个图沿着箭头所指的方向，在 23 时 56 分的时间内转动一周。这图代表 12 月 20 日半夜 12 时的天象，也代表 3 月 20 日晚 6 时、6 月 20 日正午和 9 月 19 日早 6 时的天象。如果我们把这张图上下倒置，那便是 6 月 20 日夜半 12 时、9 月 19 日晚 6 时、12 月 20 日正午和 3 月 20 日早 6 时的情况了。如果我们将这页书的左边放在下边，这便是 3 月 20 日半夜、6 月 20 日晚 6 时、9 月 19 日正午和 12 月 20 日早 6 时的天象，依此可以类推。

每日天象随时间变化。在描绘好这张图的 1 小时以后，大熊座升高一些，2 小时以后更升高一些，6 小时以后它就在天空高处盘旋，随后就往下沉。如果黑夜足够长，那么在 12 小时以后，它所占的位置正和开始观测时所占的位置相反。因此，人们很容易借大熊座的位置来辨别黑夜的时刻。在巴黎所在的纬度上，大熊座是不下落的，古代人早已知道这个现象，所以古希腊的荷马、罗马的奥维德(Ovide)两位诗人都歌颂过大熊星座。

天上所有的星在 23 时 56 分之内都围绕着北极，沿着与地球自转相反的方向运行一周，都两次经过子午圈(子午圈是由北到南把天球分成两个等分的理想大圈)，对于有升有落的星来说，其中一次中天(即过子午圈)是在地平线下。它们再从东方升起，缓缓地升至天空的最高处，再向西方落下，正如太阳每日出没一样。天文台有一种名叫子午仪或者子午环的基本仪器，它被装置在子午面内，仅能在这个平面内转动，指向各种高度，而不能左右移动，星过子午圈(图 33)就是用它来观测的。星过子午圈的确切时刻是借助星过望远镜视野中垂直丝的时刻来决定的。

这种望远镜上装有一个有刻度的圆环，位置在垂直平面内，用来测量星的高度或者与

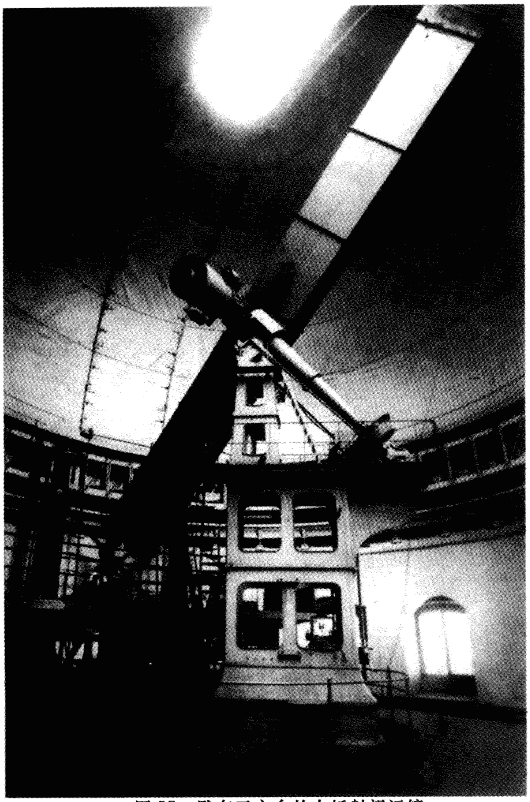


图 57　默东天文台的大折射望远镜

这座折射镜是双筒的(目视与照相);目视的物镜口径为 83 厘米,焦距 16 米,在欧洲是最大的。

天极或赤道的距离,而垂直丝是用来精确地决定星过子午圈的时刻。我们可以说,子午仪能使我们知道星在天球上的确切位置,正如地球上一个城市的位置是由经度、纬度来决定的一样。

这种仪器只能在星过子午圈的时候进行观测,不能指向天空中别的方向,所以这种仪器的用途是特殊的。别的望远镜则可以指向空间任何区域。图 57 中的这种仪器,我们把它叫做赤道仪。它有一个等速运动的马达自动地带着这架望远镜沿着和地球自转相反的方向转动。所以如果仪器指着某一颗星,它就跟着这颗星的周日运动行走。这样,对于天文学家来说,地球好像停止了它的运动。我们在这里就不多谈这类光学仪器,因为后面还有专门的一章会谈到的。为了结束这一章,我们还必须讨论地球的第三种运动。

月亮每月围绕我们的地球运行一周,它把地球在空间的位置也整个移动了。事实上,地球和月亮成了一对配偶,绕着它们的公共重心转动(图 58)。月亮的质量是地球质量的

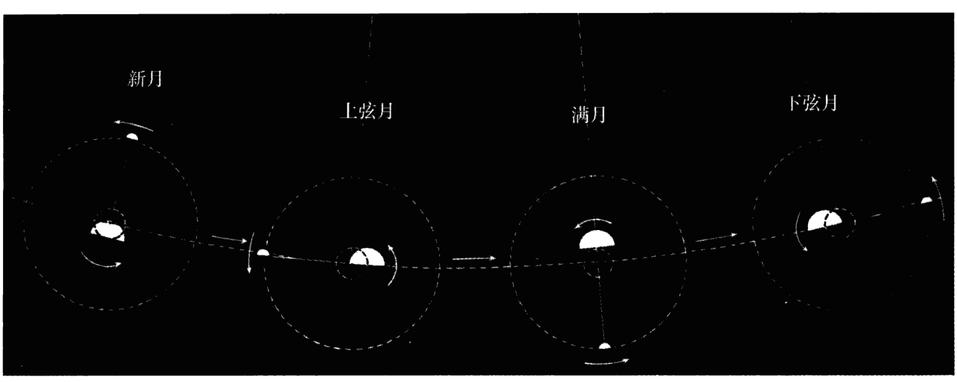



图 58　地球和月亮绕它们的公共重心旋转

公共重心围绕太阳做一个椭圆。地心和月心的轨道蜿蜒在这椭圆上。

1/81，因此这个公共重心距离地球中心比月亮中心距离地球中心要靠近 82 倍。这个重心离地球的中心只有 4 660 千米，我们的地球在每月内绕着在自己内部距离中心等于半径 3/4 的这一点转动。新月的时候，我们的卫星（月亮）在太阳和我们当中，此时我们离太阳远一些，如果没有月亮，便不会有这种情况（图 58）。反过来说，满月时，我们要靠近太阳一些；上弦月时，我们在轨道上前进了一些，因为那时月亮在我们的后面；下弦月时，我们在轨道上后退一些，因为那时月亮在我们的前面（图 58）。地球这种运动的效果，便使我们看见太阳有一种周期性的大小和位置的变化。我们看到，在新月时太阳要比在满月时小一些，上下两弦月时，太阳好像离开了自己的位置，这个移动的距离可以达到太阳直径的 1/150。



图 59 撒哈拉沙漠中霍加尔(Hoggar)火山区
在北回归线附近。该照片是从飞机上以倾斜的角度拍摄的,地平面上显现出地的圆形。

## 第四章

# 地球的第四种运动——岁差

孩子用肥皂沫吹成彩色的气泡,在阳光照耀的空气里飘荡着;地球被宇宙间的力量控制着,在太空里旋转运动,也和这气泡一样活动。我们已讲过地球绕着太阳周年运行的速度和绕轴每日一周的自转所产生的效果,以及地球因月亮的存在而产生的位移。地球所有的运动不仅仅是这三种,现在我们来讨论它的第四种运动,这是由于月亮和太阳对于地球的吸引作用而引起的。

我们说过,地球自转轴指向天空的一点(极点),在一年里常是指向那相同的一点。但是,地轴并不是绝对固定的,它缓缓地在移动,在长时期里描出顶角为 47°的一个圆锥。这

第四种运动正像陀螺绕着自己的轴旋转而它的轴在空间可以描画出一个圆锥。天极既然是地轴延长和天穹相交的一点，可见，这一点在众星之间也有长期的移动。没有一颗星会永远拥有北极星的称号。现在是小熊座尾端的一颗星和极点最接近，所以得到这个特殊的称号，它距极点还不到 1°，而且还在向极点接近，到了 2100 年，这个距离只有 28′。以后极点就渐渐离开它，一直要到 26000 年以后才再回来。这种岁差运动的周期实际是 25780 年，它在长时期里逐渐减少下去。另外，黄极（黄道的极）是天极运动的中心，它在天上也不是不动的，因地球受到别的行星的摄动的影响，黄道平面也在很缓慢地摆动着。真的，在我们的宇宙里，没有什么是固定的，没有什么给我们以绝对静止的概念！因为这种极其缓慢的运动，使天极所绘成的曲线稍微和正圆有些差异，在 258 个世纪以后，这条曲线并不闭合。还有第五种运动加在这种运动上面。地球的自转轴在 258 个世纪中所经历的一周期里，月亮的作用使得这个轴另有一些小幅度的摆动，附加在上面所说的近似的正圆上。由于这一运动，极在天球上就描绘了一个椭圆，18 年零 7 个月经过一周。这个椭圆的长轴指着黄极，长不过 18 秒，短轴仅 14 秒〔这等于我们看放在一千米以外的一只大柠檬所张开的视角〕。这种运动是 1737 年英国天文学家布拉德雷（Bradley）所发现的，叫做章动。图 61 上所绘的那个圆周代表极点所行的路径，可是极点并不完全在那个圆周的上面，因为章动使得它在圆周内外有一些摆动。所以在岁差的长期运动上又加了一些波动式的摇摆，这更是极点不能再回复到它的出发点的一个缘故。

图 61 上仅绘了一个圆周，而省略了细微复杂的变化。这足以向我们表明，公元前 2600 年最接近极点的星，换句话说，即那时的北极星是天龙座 α 星，星等为 3.6〔古代人把肉眼看得见的星按亮度分为 6 等。星等仅表示星的视亮度，并不表示星的大小；视亮度和星的真亮度及距离是有关系的。最亮的星，它们的星等可能是 0 或 1。比较暗的星依次是 2、3……等星。肉眼所能看见的最暗的星是 6 等。利用望远镜，再加以拍照，我们可以观测到 23 等的星。本书后面还要讨论到星等这个问题〕。这颗星在中国和埃及历史上都很著名。中国天文学家在关于公元前 2700 年轩辕黄帝的典籍上曾经记载了这一颗星〔天龙座 α 星即紫微垣右枢星。——译者注〕；古埃及人在 50 世纪

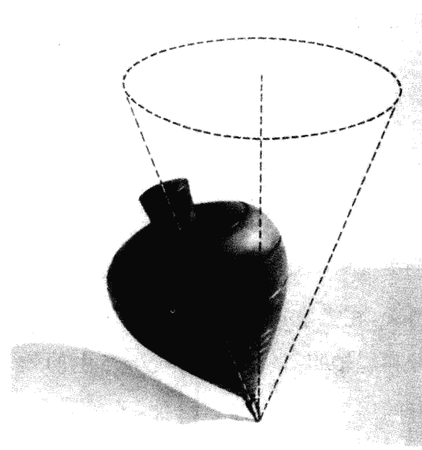


图 60　地球自转轴方向的改变，造成两分点的岁差，可以比拟为陀螺自转轴的运动

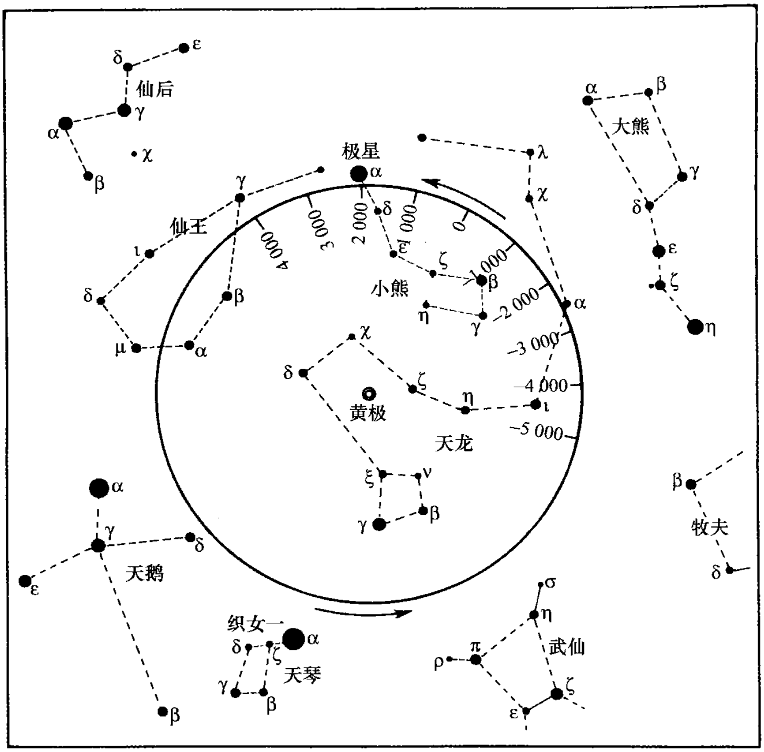



**图 61　天北极对于恒星不是固定的**

在 25 780 年内它走了一个圆周。图上注明公元前 5000 年至公元 4000 年的北极位置，这样也可以看出地轴方向的长期变化。

前利用他们的科学知识修建了金字塔，后人打开隧道进入塔内，从那里观望北天极，仰角是 27°，这正是吉萨（Gizeh）〔吉萨是埃及首都开罗附近的小城，大金字塔和狮身人面像就建在那里。——译者注〕的纬度，也是那时北极星天龙座 α 星在下中天时所应有的高度。以后北天极从小熊座 β 星和天龙座 χ 星中间经过，这是公元前 1200 年古希腊神话中的英雄乘天舟去取金羊毛的时期；再以后天极便逐渐接近小熊座的尾梢，如果金字塔的隧道今天还没有闭塞，我们在那里所看见的应当是小熊座 α 星。

图 62 是北极附近大比例尺度的星图，它是由 1902 年弗拉马里翁天文台所绘的。图上的星至照相星等 12 等。我们很容易在图的左面认出小熊座 α 星。图上描绘了自 1600 年至 2200 年极点的运动，因章动的缘故，极点的行径本应是一条波形的曲线，但是按照我们图上所用的比例尺，这曲线的波幅不过是十分之几毫米，很难表现在图上。1930 年间，北天极很接近一颗 11 等星，在那几年里，它真可算是最近北天极的星了。但是，现在的北

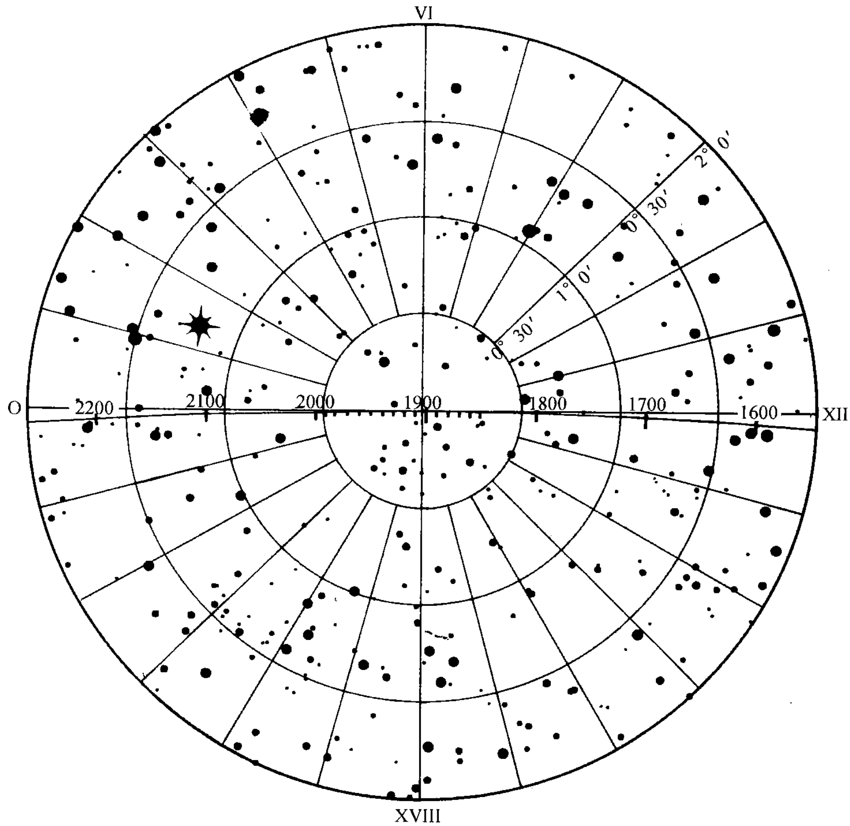



图 62 北极附近 356 颗星的图

1600 年至 2200 年的极点位置。

天极正以每年 20 秒的速率离开这颗星而去。

在公元开始的时期，没有亮星接近北天极。公元 800 年，北天极很接近鹿豹座的一颗小双星。现在这颗亮度为 2 等星的北极星，是北极在它的行径上所遇见的最亮的星，1 000 年以来它便享有盛名，并且还将保留到公元 3500 年，那时北天极便将渐渐接近一颗 3 等星。即仙王座的 γ 星了。公元 6000 年，北天极将在这个星座里的两颗 3 等星 β 星和 ι 星当中经过；公元 7400 年，它将和 1 等明星天鹅座 α 星接近；公元 13600 年，它将和北天耀眼的明星——天琴座里的织女星靠拢。至少在 3 000 年内，这颗星将是我们后代人的北极星，正如在 1.4 万年前，它曾是冰川时期我们祖先的北极星一样。

在这漫长的时期，天球的面貌随北天极的移动而改变，各地方所见的天象亦随时代而不同了。例如，几千年前，欧洲可以看见南十字等星，而几千年后，耀眼的天狼星将在欧洲的天穹上消逝。经历 258 个世纪的周期，全部的变化才能循环一次。

图 63 和图 64 表示巴黎纬度上的拱极星的星图，那就是我们现在看见的恒星。1.3 万年后还能看到（图 63）和 1.3 万年前曾经看到的（图 64）相同的星。在图 63 上，我们看到，左边的一个圈代表天穹的一个顶盖部分，这个圈内的星，对于与巴黎的纬度相同的地方来说，它们绝不落下（和图 56 比较一下）。至于右边的另外一个圆圈，它里面的星在 1.3 万年前也绝不落下，再经过同样长的时期，这样的情景又将重复出现。那时，织女星又将是北极星，河鼓二（即牛郎亦作牵牛）和天津四（即天鹅座 α 星）又将出现在地平线上，而仙后座的恒星和大熊座内大部分的恒星，每天都有一起一落。

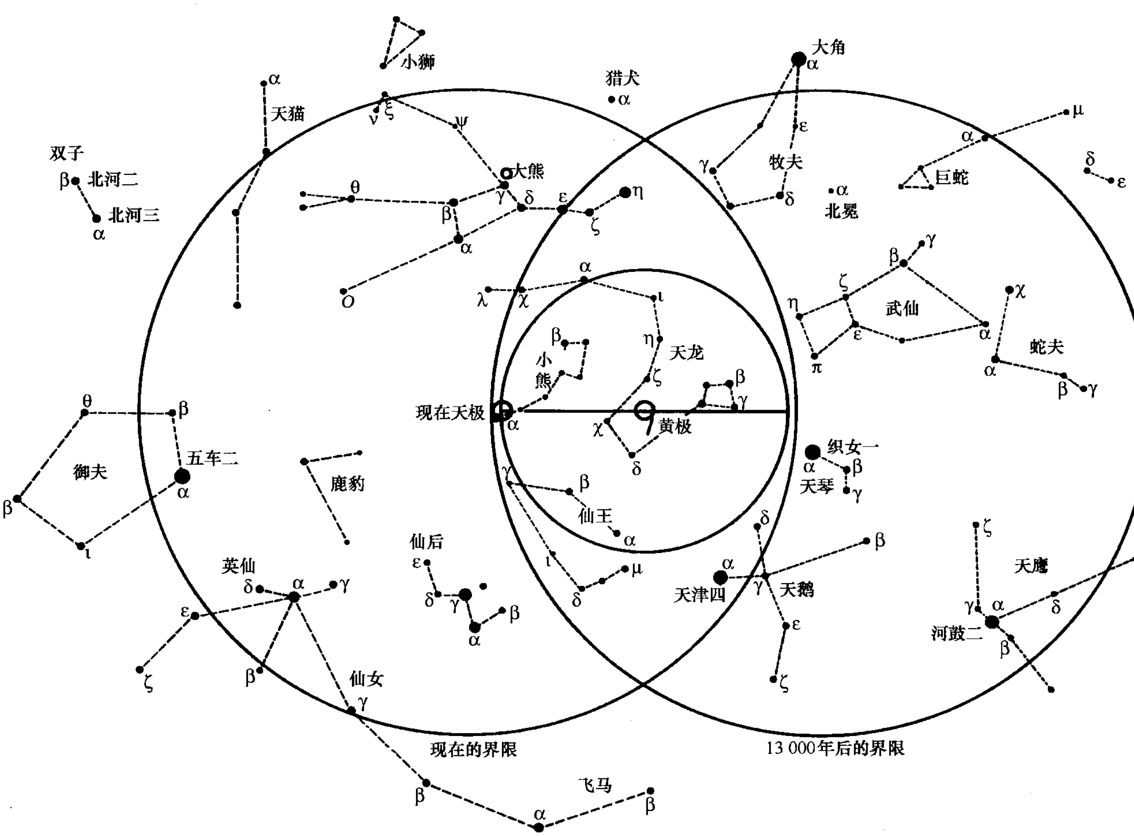



图 63　巴黎所看见的北天拱极星的界限

现在的或 13 000 年后（或 13 000 年前）的情形。这界限圆的中心绕黄极转动，图上绘出北极的轨道，这样就可以绘出这两个时期之间某一时期的界限圆。

详细研究图 64 又可以发现一些有趣的现象：天狼星（即大犬座 α）、参宿七（即猎户座 β）和猎户带上的三星，在巴黎的天穹上都将消逝，参宿四（即猎户座 α）须经过一段时期才能出现。但是人们却可以看见南十字、半人马、孔雀、杜鹃、凤凰这几个星座；那时天蝎座

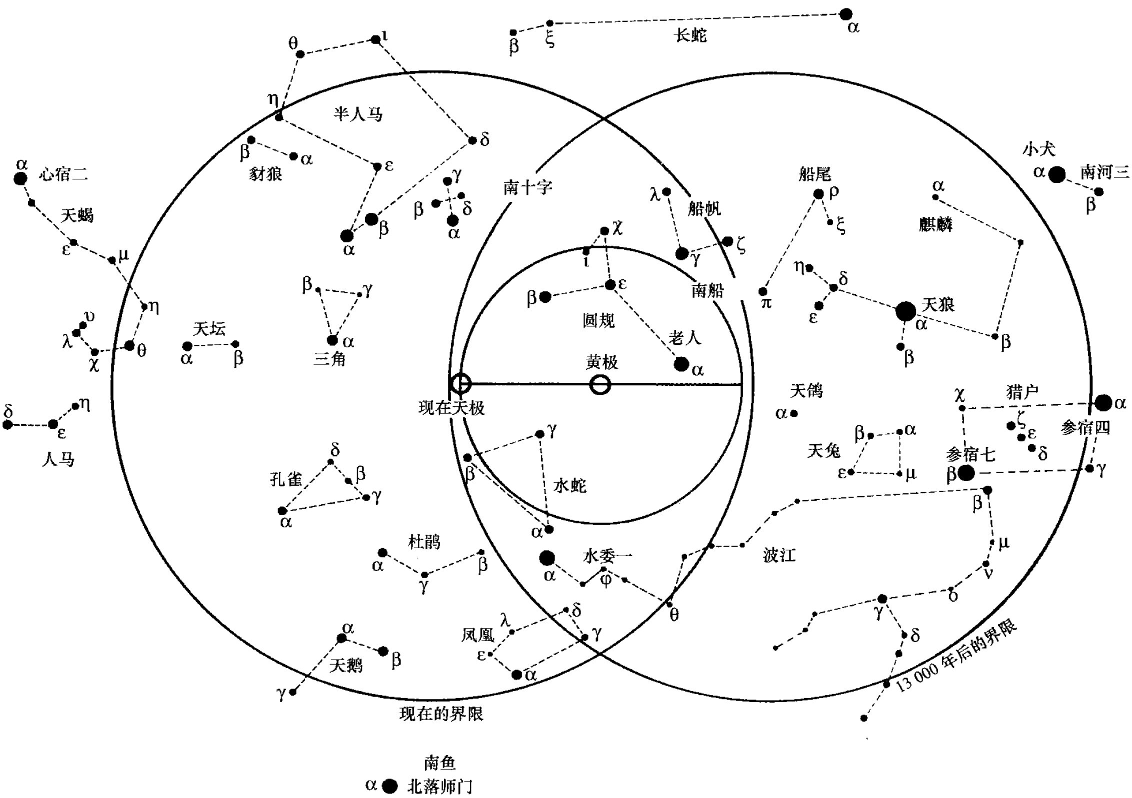



图 64 巴黎所看见的南天拱极星的界限
今天的和 13 000 年后(或 13 000 年前)的情形

将是巴黎天穹上最美的星座。天穹的变化循环是何等的伟大而又何等的缓慢啊！在这漫长的一个周期里，地球上经过了许多兴亡变化，前一次北极在现在的位置的时候，即距今 2.58 万年以前，地球上还没有所谓的国家。在我们的行星上现今争夺霸权的民族还没有在大自然的摇篮里哺育出来。虽然那时已经有人，但社会组织还很原始，文明还很原始。考证他们所留下的遗迹，这些野蛮未开化的人类当时还处在所谓的石器时代。再经过一个这样长的周期，当北极重新回复到现在的位置上的时候，我们将变成怎样呢？那时，法、英、德、意等国的民族均可能消失无形！哪个国家能抵御时间的淘汰作用呢？别的民族、别的语言、别的习俗也许老早便代替了现在的状况。将来有一天，漂泊在塞纳河〔塞纳河(Seine)是流过巴黎城的一条河。——译者注〕边的旅行者可能停步在一片废墟上，寻找在许多世纪里曾放光辉的巴黎。也许，他为着寻找昔日的这个名城，也会像今天考古学家要考证中东的古城那样感到困难。我们的 20 世纪也将沉没在古代史里，正如古埃及的王朝在今日

我们的眼里那样！

繁星的天就这样整个地在运动，缓慢地围绕着黄道的极轴在旋转。黄道好像是太阳在天空绕着地球一年一周运行的路径。我们已经说过，事实上，这是地球环绕太阳运行而产生的现象。只是因为透视的作用，我们才感觉太阳在我们对面沿同一方向前进，一年运行一周。太阳在天空中视运动的路径叫做黄道。月亮必须在黄道上才能发生日食或月食。黄道的极是天球上的一点，在那里放上一个圆规，张开 90°的角，在天球上画一个大圆，便是黄道。

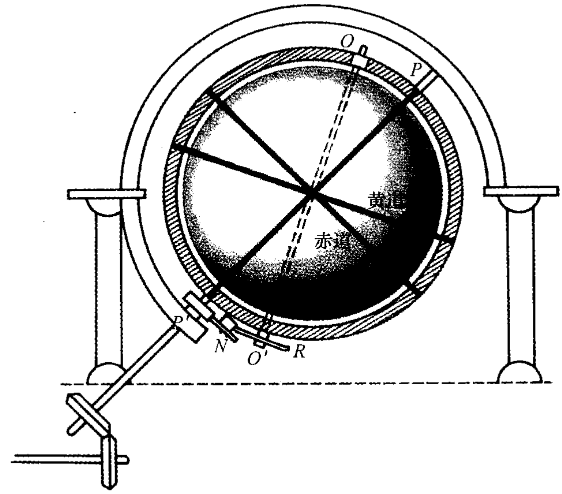



图 65 本图取自恩惹雷(Ungere)所写的《斯特拉斯堡的天文钟》，表示天球仪的装置。 赤极轴是 $PP'$，黄极轴是 $OO'$，$R$ 代表减速的齿轮，为明晰起见，图上只绘了一个齿轮

因为有这样的普遍运动，天上繁星在连续两年里不会占据相同的位置。若相隔的时间较久，我们便不得不重新描绘我们的星图，这好像是在繁星后面将画幕的底掠动一下那样。1900 年所绘的星图不能适用于 1950 年，我们现在所绘的星图亦与 2000 年的天象不合。我们可以由很精确的数学公式去计算这些运动的影响，并且求出在过去或未来任何一个日子里星的确切位置。在历书上需要特别标明恒星的位置是属于哪一年代的，例如 1900 年的春分点或者 1950 年的春分点等。




图 66 黄道十二宫的符号

事实上，这种岁差运动正如周日运动和周年运动一样，并不是天穹所固有的。真正运动的只是地球，它的轴在长时期里沿与地球自转相反的方向转动了一周，这是由于太阳和月亮的吸引力对于地球的赤道突出部分吸引而产生的。如果地球恰好是一个球体，就不会有这样一种运动了。可是，地球两极扁平，赤道带突出。太阳和月亮对于这个突出部分所起的作用是使两极逆行，于是这个运动把整个地球都带动

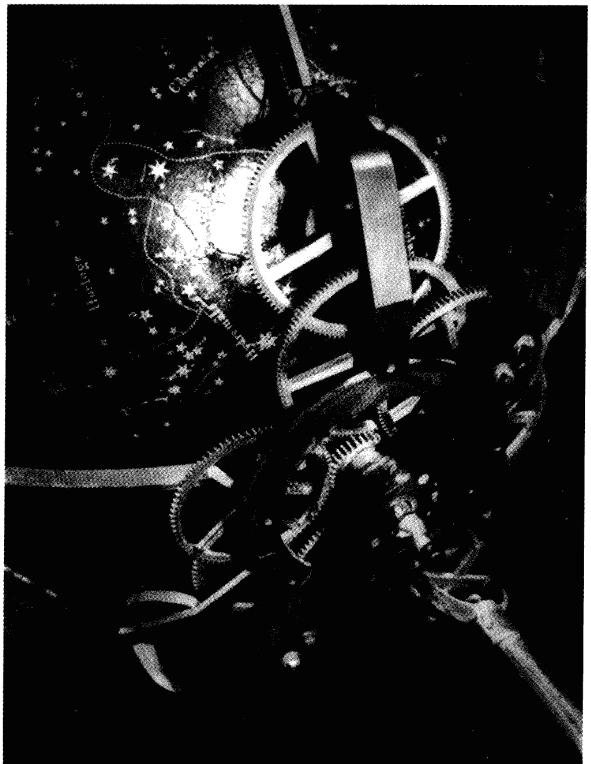


图 67　斯特拉斯堡教堂天文钟上的天球仪

这座大钟表现了二分点的岁差，因而表现了天极在恒星间的长期运动。图右下方的司动杆支持天球仪的衔铁，使它在一恒星日内转一周。这天球仪还对于衔铁围绕黄极转动．在 9 451 512 恒星日内转动一周，图中的八对减速齿轮使这天球仪得到这样缓慢的运动。

了。这种运动在公元前 130 年间由古希腊的伟大天文学家喜帕恰斯发现，到了 1687 年，牛顿才说明了它的缘由。

地球的这个第四种运动常被人叫做二分点的岁差或进动，因为它使得地球绕太阳公转轨道上的春分点每年都有一个向前的移动。众星在天球上的位置从一条线算起，这条线从北天极引向春分时太阳经过赤道上的那一点；该点叫做春分点或 γ 点（这是代表黄道里白羊座的符号，因为这个古希腊字母 γ 好像羊角那样）。

这一点由东向西每年前进，经 25 780 年沿赤道走完一周。它的平均速度大约是每年 50 弧秒（度、分、秒是代表角度大小的三种单位，关于这一点，以后还会谈到）。

太阳周年视行所经过天空里的恒星，在不可稽考的远古时期便被分为 12 群，名叫黄道星座。2000 年，太阳经过赤道时遇到的第一个星座叫做白羊座。按照由西向东的次序，第二个星座叫金牛座，第三个是双子座，以后三个是巨蟹、狮子和室女座，其余六座是天平、天蝎、人马、摩羯、宝瓶和双鱼。

很久以前，春分点已经离开了白羊座，它现在在双鱼座内，十几个世纪以后，它要到宝瓶座去。黄道大圈是黄道十二宫的中央线。我们在讨论地球的自转时说过，赤道是和黄道斜交的。黄道带可分为两段，每段各有六个星座。把一段放在另一段前面（图 68），使首尾衔接起来，12 个星座互相连续，然后，环绕着观测者的眼睛围成一个圆筒，这便成了天球上的黄道带。我们再在每个星座下面注上太阳经过每一星座的月份。

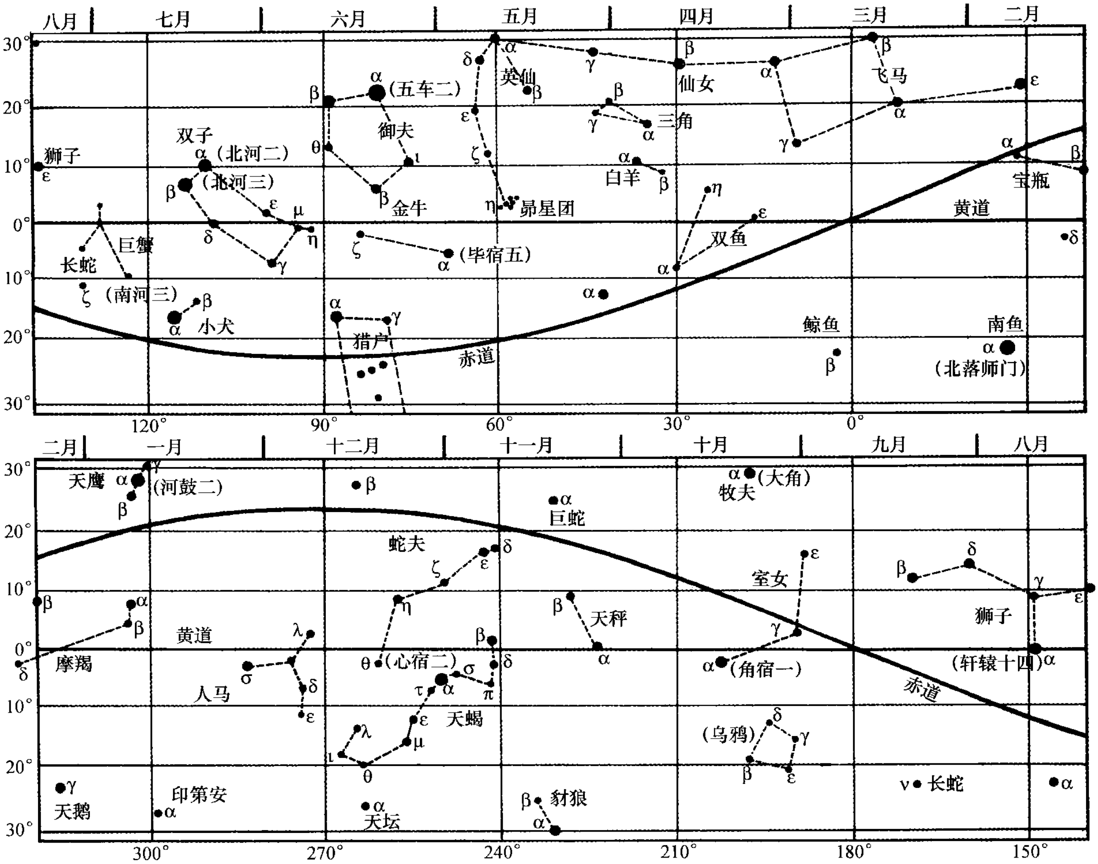



图 68　黄道十二星座

这幅星图和下面一幅星图是用黄道坐标，而不是用赤道坐标来表示的。图中正弦式的曲线代表天赤道的现在位置。

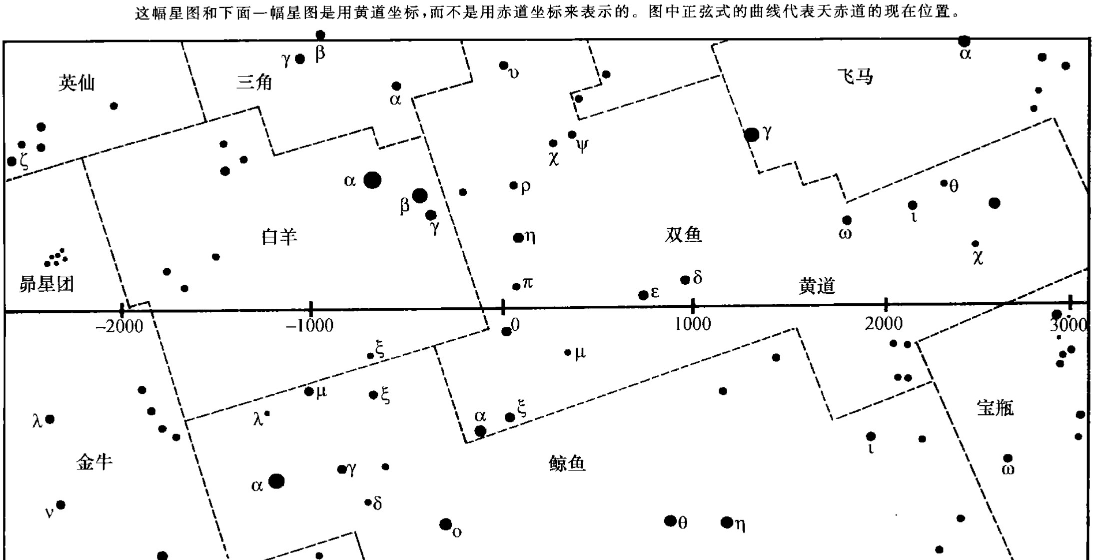



图 69　春分的移动图

春分点在黄道星座里从公元前 2000 年至公元 3000 年的移动情况。

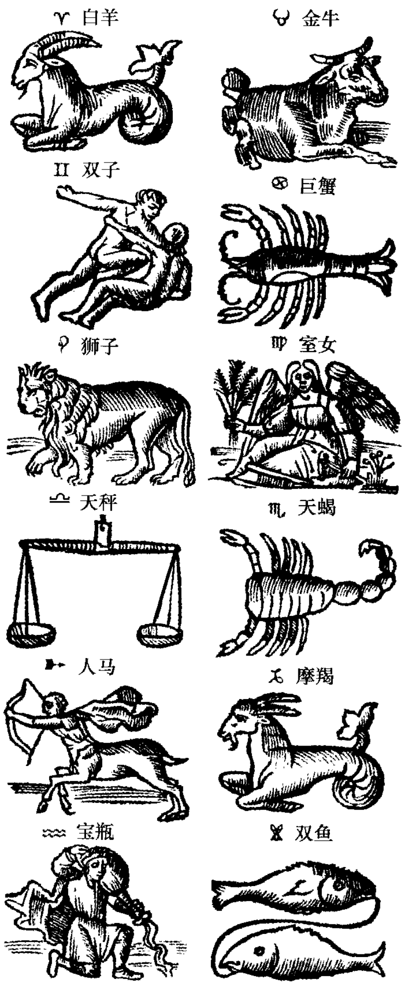



图 70　古代的黄道星座神话像

我们可以想象，太阳沿着黄道的星座前进，正如我们想象北天极在北天繁星之间做长周期的移动那样。公元开始时，春分点到了白羊和双鱼两座的分界处，公元前 2000 年，春分点和金牛座头几颗星相合（这个星座自公元前 4300 年以来已经成了春分点所在的星座）。也许就在这个时期里，初期的观天者拟造了黄道星座，因为在一切宗教的神话里，金牛座总是和太阳联系起来的，它使季节和气候变化，使土地生产。可是没有书籍记载曾把双子座和太阳作过这样的联系。1 800 年前，罗马诗人维吉尔（Virgil）根据当时的情况歌颂金牛星座说，它用金角冲开了每年的周期。

金牛座内的明星，如显著的昴星团（俗称七姊妹星团），都被古埃及人、中国人和古希腊人当做是春分星。天文的记载还保存着中国人的观测，认为昴星团是公元前 2357 年的春分点，而现在夏至点却渐渐接近于这一群恒星了。

春分点长期的进动不是等速的，因此，回归年的长短也不是绝对不变的。回归年在现今比喜帕恰斯的时代〔即公元前 2 世纪。——译者注〕短 11 秒，比底比斯（Thèbes）还是古埃及的京城的时代〔即公元前 20 世纪。——译者注〕短 30 秒。20 世纪开始的时候，回归年长 365 日 5 时 48 分 46 秒。每一个世纪，一年大约减短半秒（0.53 秒），也就是说，我们今天的百岁老人，比奥古斯都大帝那个世纪〔即公元前 1 世纪。——译者注〕的百岁老人少活了 20 分钟。

古代人以为地球上的政治情况亦有周期性的变化，他们认为在一个“大年”以后，地上应有相同的民族重演相同的历史，正如经过若干世纪以后，同样的天象再回来一样。有些人认为这个大年是 365 年，古希腊哲学家赫拉克利德认为是 1.08 万年，还有人说是 1 700 万年！一般人都以为是 3 万年，无疑这个数字是因古人以为岁差的周期有这样长才决定

下来的。因为人们相信，他们的命运是受了行星的影响，自然他们会联想到，当星象相同的时候，会有相同的人事。可是要行星回复到同样的位置，3 万年还不够呢。占星家以为创造世界的时候，所有的行星都在一条直线上，对这种荒唐的说法，我们还有什么话可说呢！

我们对于一位活了 100 岁的老人会感到惊讶、羡慕，而天穹演变的周期自然超出人们的想象。天体的现象常在几百个世纪或者几千个世纪后重新出现的，我们看上去这好像稀罕极了，可是就地球的年龄尺度来说，却是常见的现象。这在宇宙的时钟上不过几秒而已。



图 71　英吉利海峡上的落日

# 第五章

# 地球的摄动和太阳在空间的运行

在前面几章里，我们叙述了地球的几种运动：绕轴的自转、绕日的公转、绕地与月的重心的运动，还有因日月两者的作用而形成地轴的一种迟缓运动（岁差），以及月亮的作用所引起的另一种运动（章动）。这一章内将要叙述地球的另外几种运动，它们是由于别的行星对于太阳和地球所施加的吸引作用而发生的，这些运动一概叫做摄动。这些运动是牛顿在 1687 年发现的，记载在他不朽的巨著《自然哲学的数学原理》之中。他认为这是万有引力定律的必然结果，该定律用数学的语言来说是这样的：万物互相吸引，其引力的大小和它们的质量成正比，而和它们之间的距离平方成反比。行星的质量比起太阳的



图 72　牛顿（1643—1727）

质量来说是极微小的，因此，它们彼此间的引力比起太阳给它们的引力即维持它们各自在轨道上运行的引力来说是极微弱的，但是却不可以完全被忽略的，而且在长时间里它们的效果便显现出来，使它们的轨道发生缓慢的变化。

地球既然是一个行星，当然也难免不受这种摄动的影响，我们在下面举出几个例子，首先说明被我们排列为第六种的运动。

1950 年，地球的自转轴和它绕太阳公转的黄道平面的垂直线相交成 23°26′45″的角度。可见，地球是斜着旋转，可是这个倾斜的角度在千百年中常常变化着。根据托勒密(Ptolemy，旧译多禄某。——译者注)、厄拉多塞(Eratosthènes)在公元前 3 世纪求得的，这个角是 23°50′；9 世纪，阿拉伯人求得它只有 23°35′；第谷(Tycho Brahé)在 1587 年定它为 23°30′30″；它现在减少的速度每世纪为 47″，或每 128 年 1′。假使这个角度继续减少以至于零，那么季节的变化也将随着逐渐减小，以至于停顿。那时，地球上便出现了四季皆春的景象。

根据传说，古代有一个黄金时代，人类在自己的摇篮里过着快活的日子。那时，大地不需耕种而自然丰产，禽兽驯服，树常结果，花常开放，空气是芬芳的，阳光是明媚的，既无风暴，也无霜雪，极尽自然之和谐与美妙之能事。可是，弥尔顿(Milton)在他的《失乐园》第十节的奇妙诗篇里，却叙述了因亚当或夏娃的过错所得到的不幸的结果。其中有一段

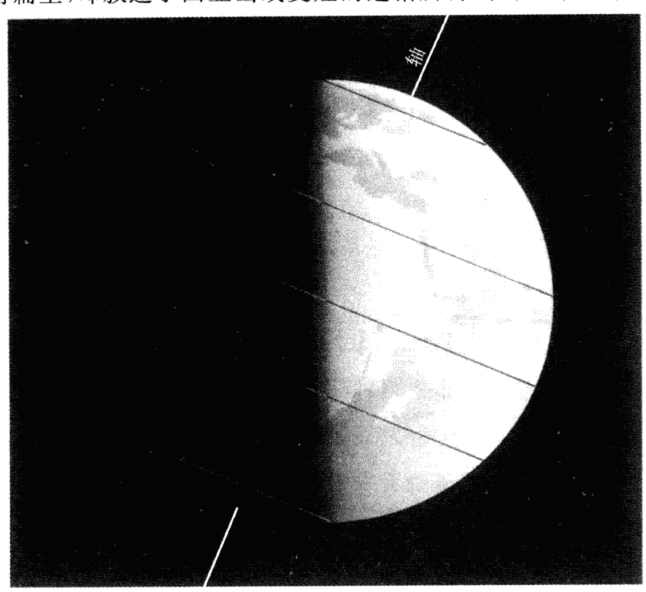



**图 73　夏至日的地球**

地球赤道在黄道上的交角(23°27′)。

说:永恒的神派来了强壮的天使,“把地轴拨动成倾斜的”,于是使这一对幸福夫妻的倒霉后裔遭遇到极不适意的寒冬和炎夏了!……

可是天体力学证明这是一段梦话。赤道对于黄道只有细微的摆动,其摆幅很难超过两分。像这样的减少,地球还要运行一万年,以后才会开始增长。地球的这种第六种运动叫做黄赤交角的变化。下表记载了下列各年1月1日交角的数值:

1900年………23°27′8″.26
1910年………23°27′3″.58
1920年………23°26′58″.89
1930年………23°26′54″.21
1940年………23°26′49″.52
1950年………23°26′44″.84
1960年………23°26′40″.15
1970年………23°26′35″.47
1980年………23°26′30″.78
1990年………23°26′26″.10
2000年………23°26′21″.41

因为有了这种变化,我们所表示北天极长期移动的圆周,其半径发生交替的胀缩运动,这样便形成一种螺旋的形态。它现时在收缩,以后又膨胀。这种交替开合的螺旋运动,有点像手表的螺旋运动那样(图61)。这是地球运动的又一种表现形式。在我们看来,地球像是很沉重的,可是它对外围微小的影响都有感觉,地球真是非常的敏感而又非常的活跃。它的行动初看起来好像又严肃又稳重,可是不然,它却具有各种各样的摇摆,正如我们上面说过的,它像是飘荡在空气里的肥皂泡那样,在轻盈地摇摆着。假使我们不知道它不得不这样行动的原因,我们会把它当做是并不全心全意地接受太阳的牵引,而总想设法逃脱这种引力去改变它自己的旅程。

我们曾经说过,地球绕太阳的轨道不是正圆,而是椭圆(图44)。可是,这个轨道的形态也不是不改变的,这个椭圆的偏心率有时大有时小。现在的偏心率是0.016 8,在10万年之后,它却要比现在大3倍;2.4万年以后,偏心率要减至极小,那时地球的轨道差不多是正圆;随后,偏心率又将增加起来。这种偏心率的变化可以当做地球的第七种运动,影响了地球长期运动的形态。2.4万年以后,地球距离太阳将经常是一样的远,它的轨道上便无所谓近日点和远日点了。地球绕着发射着光和热的轨道焦点而运行,轨道形态的这种变化,显然在季节和气候上会发生一种长期的影响。

地球的第八种运动,也是由行星的一般影响而来的,它使地球轨道的长轴又叫做拱线发生旋动,使近日点和远日点沿着轨道而运行。因此在连续两年里,长轴并不保持一个绝对相同的方向。公元前4000年,地球在9月23日,即秋分日过近日点;公元1250年,于

12 月 21 日，即冬至日过近日点。那时，就北半球来说，冬季发生在椭圆轨道上最接近太阳的一部分，可能比较温暖；夏季发生在椭圆轨道上最远离太阳的一部分，可能比较凉爽。因近日点比远日点距离太阳约近 500 万千米，接收太阳的热量也可差至 1/15，所以这一种变化对于季节的寒暖，实在是有影响的。现在，地球于 1 月 2 日过近日点；公元 6400 年，近日点将和春分点相重合；公元 11500 年，近日点将和夏至点相重合，那时北半球夏季将最热，而冬季最冷；公元 16000 年，近日点将重返公元前 4000 年的情况，即它与秋分点相重合。所以这一变化的周期是两万年。

行星吸引地球而产生的摄动还有许多种。木星距离地球虽有 6.3 亿千米之远，可是它却影响地球，使地球越出轨道！两星最接近时，地球可越出轨道几千千米去向木星致敬。总之，地球随着它同木星、金星、土星、火星以及其他更远更小的行星的距离的变化，而受着时常变化的影响，因而扰乱了它的运行。

第九种的运动包括许多周期的变化，天文学家有方法计算出来。这些变化一概叫做地球轨道上的周期摄动。

但是，地球的运动还不止于此。太阳的位置恰在所有行星的轨道的焦点上，如果我们把这一点当做是绝对不动的点，那便大错特错了。

首先，这一点围绕太阳系的公共重心而转动。如果太阳系里可以找到一个相对不变动的标点，那一点便是这个重心，而不是太阳的中心。这两点之间的距离，并不如我们想象的那样接近。当所有的行星都在太阳的一边的时候，太阳便在重心的另一边，以便和这些行星取得平衡(图 74)。那时，这个重心和太阳中心的距离可达到甚至超过太阳直径或者日地间距离的百分之一，这是它所能达到的最大的数值。太阳的中心本是地球轨道的焦点，于是这个中心带着地球围绕公共重心描出一种奇特的曲线。地球参加了这种芭蕾舞式的运动，我们在这里把它叫做地球的第十种运动。

以上所述的无疑是过于专业了一些，正如诗人缪塞(Alfred de Musset)所说的，像"一位院士的讲演"那样不加修饰，但是如果我们要了解宇宙的真相，从地球在空间的位置着手研究是很必要的。可是，我们还没有说完地球的运动，我们应当在这里解释它的第十一种运动，这一种比以前的十种加在一起还更出色，因为它把整个太阳系、太阳和它的从属的行星、卫星与彗星一并带着，经过星际的空间。我们因为研究恒星的自行，而后才发现这种普遍的运动。我们试图用一个熟悉的比喻来说明我们是怎样得到这个结论的。当我们坐火车旅行时，经过田野、树林、山川、村庄，看见一切景物沿着和我们运动相反的方向奔驰。如果我们详细观测恒星，我们在这些天体上会发现和上述相同的现象。天上的繁

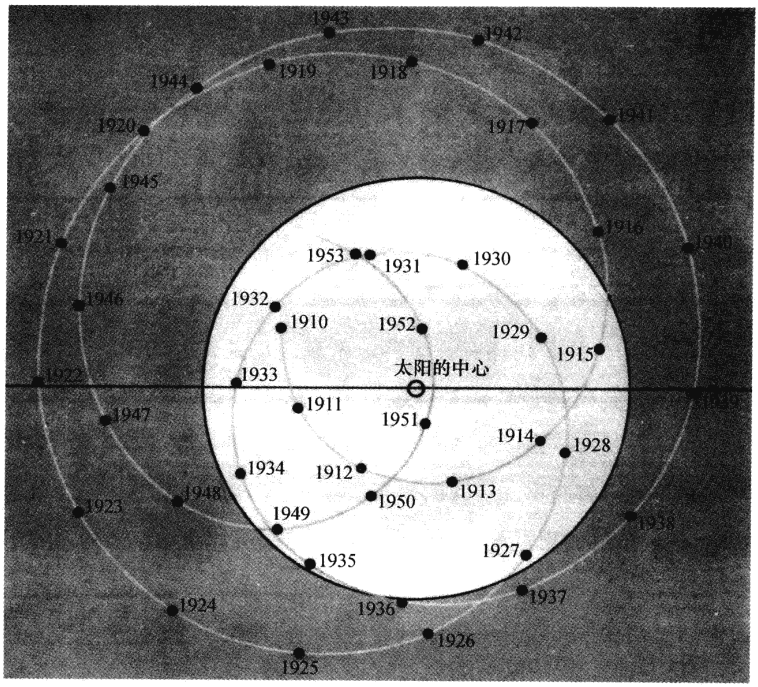



图 74 太阳系的重心

这重心围绕太阳的中心绘出一连串的环圈，它常在太阳的球体以外。事实上，这一点应当看做是固定点，围绕这一点运动的不只是行星，而且还有太阳。就这一观点来说，天体力学对哥白尼的太阳系的学说，做了一点修正。

星好像都向着天空中的一个区域奔驰，即向着和我们运动相反的方向奔驰。我们两旁的星都在后退，我们前面的星都好像在散开，好像在为我们开辟一条道路似的。计算说明，这种透视的现象是太阳带领着地球和别的行星向天空某一区域的移动而引起的，这一区域在天琴和武仙两星座之间。用天文家的术语来说，这一区域是在赤经 270°，赤纬 30°附近，离武仙座 ξ 星不远的地方。天球上这一点叫做**太阳的向点**（图 75）。我们向这一点飞去，速度每秒 20 千米，每日要走 173 万千米，每年要走 6.3 亿千米。我们沿着天狼星闪烁的区域，朝着天琴和武仙的明星飞去。太阳带领着地球的这一种运动是在 1783 年被威廉·赫歇尔〔William Herschel，旧译侯失勒。——译者注〕所发现的。

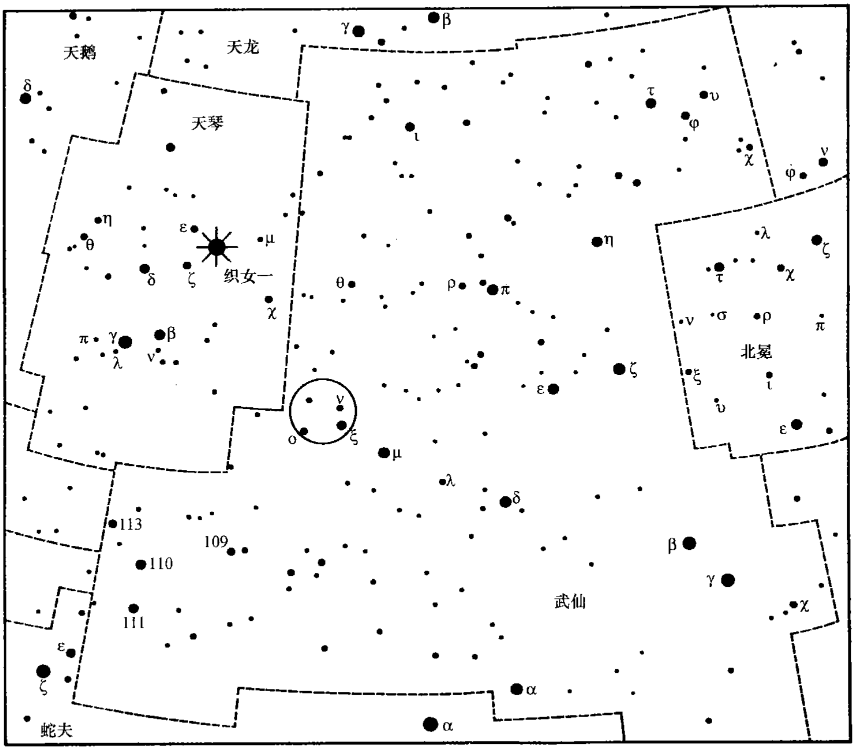



图 75　太阳率领行星指向天空某一点的运动（图中用小圆圈出）

在夏季的晴夜里，静寂的天穹上闪烁着美丽的星星时，请你在银河边际的星座里去寻找天琴座里的一颗名叫织女星的 1 等明星。在离这个灰白区域不远的地方，天鹅座像一个大十字那样舒展着它的双翼。以织女星居中，和天鹅座正对着的是北冕座，其中主要的明星排成王冠的形式，很易辨识。

在织女星和北冕座之间（图 75），你可以认出一些 3 等和 4 等的星，它们都属于武仙座，这便是在天空中我们长途旅行所奔赴的区域了。

我们设想一下，我们在无限空间里的这一种运动。宇宙中自然无所谓上和下，为了更好地表现我们在星际间的这一运动，可以取黄道平面为准，因为所有的行星带着它们的卫星围绕太阳运行的轨道都和黄道平面相离不远。假想把太阳系比喻做一个圆轮，把它抛掷在空间，这圆轮是垂直还是倾斜于自身的运动的方向而飞去呢？

如果把黄道比拟做地平面，黄道的极线比拟为垂直线，我们便可以把我们在空间运行的路径描绘出来。这条路径和黄道极线的方向相交约成 37°（图 76）。地球以高速度向着不可达到的深渊奔驰，这条路线是一条伟大的螺旋曲线，同时太阳（更确切地说便是太阳

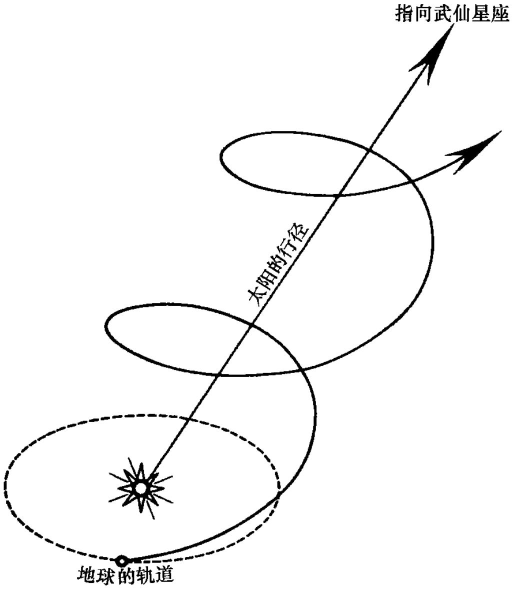



图 76 太阳系整体指向武仙座的运动
每一颗行星，特别是地球，同时还在环绕太阳的轨道上运动。这两种独立运动的组合，造成了一种螺旋式的轨道。

系的重心）便在箭头所表示的那条直线上飞奔。

这便是太阳和地球对于近星的相对运动。这些星自己都在运动，方向是很多的，但速度的大小则和太阳差不多。包括太阳在内的这一群恒星，好像一群内部纷乱的昆虫在做集体的飞行。

可是这一群星有一种集体的运动，正如风吹着一团聚集不散的昆虫在移动一样。事实上，太阳同自己近邻的恒星参与银河系的一般自转的运动，这一点我们以后还要谈到。银河自转的中心是宇宙深处的一点，位置在人马座的星云后面，它在我们所处的纬度的地方，夏夜可在南方的天上被看见。现在，太阳正带领着它整个行星系，朝向天鹅座的几颗恒星的方向，以每秒 268 千米的高速运转着，需 2.3 亿年才能运转一周。自地球存在大约 30 多亿年以来，它跟着太阳在银河系里已绕了 15 圈以上了。

我们将谈论到银河星系的惊人范围，但它是不是宇宙里的一点灰尘，像我们太阳系一样，是不是还有别的数以亿万计的河外星系呢？在这样超过我们所能想象的星空里，我们是不是终于找到了尽头呢？不，因为所有的星系都像在互相逃逸，这些星系距离我们愈远，逃逸得愈快，最远的几个星系的逃逸速度竟达到每秒几万千米！我们到现在也还不知道每一个星系里究竟有着怎样的运动呢！三个世纪以前，近代天文学已得出了太阳系的真实范围，我们的祖先已经对于那样的无限感觉眩晕。在现今天文学所表示的宇宙面前，我们又会有怎样的感觉呢？





**图 77 与图 78　地球上两种地貌的壮观**

上图是阿尔卑斯山的勃朗峰顶，附近设有观象台；下图是加拿大马更些河的大盆地。



图 79　非洲图古尔特(Touggourt)东北的沙丘
沙丘坑里种植的是棕榈树。

## 第六章

# 地球运动在理论上和实验上的证据

古谚说:“聪明人不愿肯定他还没有证明的。”天文学在观测科学中是很精确的,它所表示的真理都建筑在事实上,谁愿意去研究它,谁就可以得到验证。

自然,这里有许多不是一般人所能了解的高等数学上的证明。幸而地球在空间的位置和它的运动的性质这些问题,基本上的证据是容易解说的,而且只需根据简单的推理便可以理解,而我们在这一章内所要说明的正是这些。我们所居住的地球的地位的确是我们应当首先明了的事实。一位相当聪明的法国科学院院士梅西叶(Messier)在 1805 年写道:“天文学家要使我相信我像一只烧鸡穿在铁棍上那样旋转,那真是枉费心机。”可是这位学者的偏见不能阻止地球的旋转,不论怎么说,我们真是在旋转。

但是在今天也还有些自信是受过教育的人怀疑地球在运动，并且列举理由说天文学家可能是弄错了，他们认为哥白尼的理论并不比托勒密的理论更有价值，将来科学的进步可以推翻我们现在的思想，正如近代科学推翻了许多古代的理论一样。很明显，这样的人没有仔细研究过这个问题。我们把所有关于地球运动的证据列举在这里，不但是有益的，而且也是有趣的。

地是球形的这个事实，似乎已不需要向读者举出证据了。400年以来，人们已经沿着各种方向，随同地球不知道转了多少圈。测量的人已经测量过地球的大小和形状，这些粗浅的知识已经列入小学的课程内，无人怀疑地是球形的了。

今天还有一些人不承认地球像气球那样没有支持点而虚悬空中，其困难在于对引力有一种错误的见解。古代天文学史告诉我们，在昔日观测者开始明白地球是无依靠地浮在空中的这件事实后，不明白这样重的球为什么不掉下去。因为人类寄居在地球上面，所以他们为此感到焦急。巴比伦人以为地球是像船那样空凹的，浮荡在空气的大海里；古希腊人以为地球负在阿特拉斯(Atlas)神的肩头上；古埃及人以为地放在四只象的背上，象立在龟上，龟浮在海上……还有一些古代人以为地球系在它两极的枢轴上；更有人以为在我们脚下的地是无限深远的。为了消除这些古人的幻想，我们应当明白地心引力不过是万有引力的一种表现。地面上的万物都倾向地心，地面上所有的铅垂线都指向地心，地球像磁铁那样吸引住它上面的东西。地球会掉下去这种恐惧是无根据的。那么，地球究竟落到哪里去呢？如果我们假想有一些人围绕地球站着，手中各提着一根铅垂线，这些铅垂线代表地心引力的方向，汇聚于地心，那便是我们所谓的下方，这些人的头部自然代表上方(图81)。如果我们了解地球是无依靠地悬在空间，便不会想到它会掉到哪里

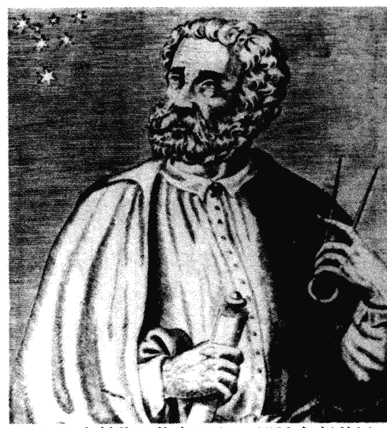


**图80　麦哲伦，他在1519—1522年间的远征里第一次周游了世界**

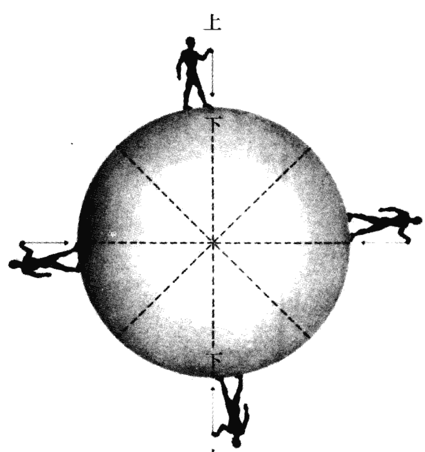



**图81　“上”与“下”完全是相对的概念**
只在个人所在的地方才有效。

去了的问题。宇宙中原来没有什么上方或者下方。设想如果宇宙中只有地球,那么因为缺少了标志,它的任何运动也就都不能被辨识出来了。

现在我们再研究一下运动这个问题。我们看到,天上的星每 24 小时围绕地球转动一周。有两种假说可以解释这个现象:或者说,那是因为天上所有的星由东向西绕着地球在转动;或者说,那是因为地球由西向东绕着自己的轴在旋转。这两种情形,在我们眼里的现象都是一样的,因为不参与地球运动的天体作了地球运动的标志。打个比方,假使有一个人坐在一条航行的船上,有人告诉他,而且他也相信他所看见的现象是真实的,即他的确看见两岸的树木和山岭缓缓地在他两旁走过。如果要叫这个人改变他的见解,实在有相当的困难,我们向他说理,也难立刻说服他,使他改正错误的见解。他必须加以仔细考虑后,才会明白两岸的树木和村庄是不动的。

地球也像一条船,我们坐在这条大船上面。怎样能不假思索便确信这个现象的原因,不是天绕着地转,而是地绕着自己的轴在转动呢?

在天绕地转那个假说下,你们将会得出怎样的结果呢?最接近地球的星球是月亮,月地距离是 38.4 万千米,所以在 24 小时内,月亮要走过长 241 万千米的圆周。因此在每一秒钟里它须走 28 千米。月亮和地球当中的距离是用三角网的方法确切地测量过,正如巴黎和罗马间的距离那样可靠。还不仅如此。太阳距离地球 1.49 亿千米,在 24 小时内太阳要围绕地球经行长 9.39 亿千米的圆周,那么每一秒钟它便需飞行 1.09 万千米!这样,太阳在一日里所走的路程,等于地球在一年里绕太阳所走的路程了。这个假说之不合理,从力学的观点也可以看出,只需将大小悬殊的日地两球表示在一起(图 82)便可以明白了。太阳的直径是地球直径的 109 倍,至于日地间的距离,曾经根据几个不同的方法确切测定过。由这种比例悬殊的尺度看来,如果还以为是太阳围绕地球转动,那才真是缺乏常识呢!这正像歌剧《西哈诺》(*Cyrano de Bergerac*)中那位主角所说的那样,我们把一只鸟放在铁叉上,我们不转动铁叉而把鸟儿固定,相反要去转动的是火炉、厨房、整个房子和整个城市!这岂不是大笑话吗?

行星离地球的远近曾经精确地测定过,它们也都参与周日运动。如果采取天动的假说,它们在空中运行速度之大更难想象。古人所知的最外的一个行星(土星),距离太阳是日地间距离的 9.6 倍,假使它在 24 小时内环绕地球转动一周,那么它将走过长 90 亿千米的圆周,它的速度便是每秒 10 万千米了。

现在所知道的最远的行星——冥王星,在这种假说下,24 时内就应运行长 380 亿千米的圆周,速度每秒应是 44 万千米了!

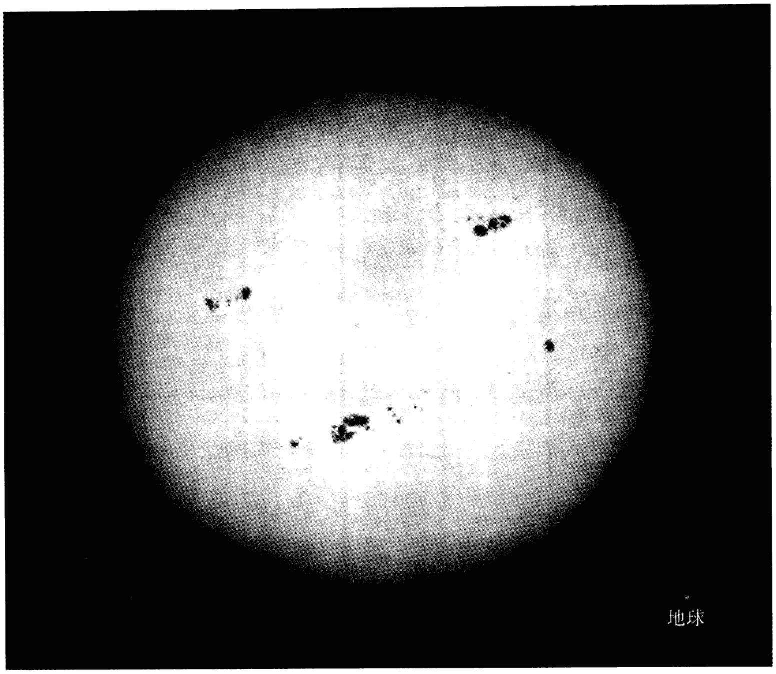



图 82　太阳与地球大小的比较

还有恒星呢？……距我们最近的一颗恒星，距离我们是日地间距离的 27.5 万倍，换句话说，等于 41 万亿千米。如果这颗星在 24 小时内环绕地球运转一周，它便走过 258 万亿千米长的圆周，它的速度应是每秒 30 亿千米！这还是最近的一颗恒星。比这远差不多两倍的天狼星，在这个假想的圆周轨道上运行的速度，当是每秒 60 亿千米！五车二（即御夫座 α 星）与地球的距离是天狼星与地球的距离的 6 倍，在这种假说下，它的速度当是每秒 360 亿千米，竟是光速的 12 万倍了！还有许多星和星云，它们的距离更是无可比拟的遥远呢！

你看，这两个假说，该取哪一个？把整个宇宙看成是每天绕着地球运转一周，还是让宇宙不做这样的运动，而假设地球绕着它的轴旋转呢？

如果我们明了天空的辽阔，其中有若干万亿颗星，距离在不能想象的远方，再回想一下地球的渺小，我们便不会假设这一切天体都以相同的速度，在 24 小时内围绕像地球那样小的一颗原子在转动了。天上所有的星在 23 时 56 分的平时里围绕地球运行一周这个假设，不但是不可能，而且可以说简直是荒谬的，除非蒙昧无知的人绝难相信。这些各自独立、距离遥远的天体，能够在每日里不约而同地围绕一个枢轴，像一个整体那样转动，它的真实性实在是很难想象的。难道这还不足以证明地球的自转实在是没有丝毫可以怀疑

的吗？

这些星当中有一些比地球要大若干万亿倍，它们之间并没有什么紧密的联系，而足以形成我们所见天球的运动，而且它们远近悬殊，天穹上的星结构非常复杂，不可能像机械那样整体地联系着在自转。那么，我们只好放弃“地心系统”这个荒谬的见解，而承认我们所居住的小球在23时56分里，绕着自己的轴在旋转了。有不少直接的证据证明地球的自转，我们将要在下文叙述。即使没有直接的证据，根据常识的推理，也使哥白尼发现了这个真理。地球绕轴自转时，地球赤道圆周为4万千米，需要24小时转动一周，因此，赤道上的一点的速度为每秒465米；在巴黎的速度是305米；愈近两极，这速度愈小，因为转动的圆圈也愈小了。

哥白尼死后一个世纪，人们发现了许多现象可以证实地球自转这个假说，这才使人相信它是一个真理。望远镜发明后证明，像地球这样的行星，都有绕轴的自转运动。例如，我们的近邻火星，自转一周需时24时37分23秒；离我们愈远的行星，自转的周期就愈短。即使太阳也不例外，它也有自转，自转周期在赤道附近是25日。因此，从简化机构和类比推理两个观点来看，都不得不承认地球的自转。还须加上一句，只有地球自转才能符合天体力学的定律，如果以为整个宇宙围绕地球转动，便与这些定律大大地违背了。

古人在承认地球的自转运动的问题上，有下面所说的一种困难：如果地球在我们的脚下自转，那么，假使我们离开地面，并在空中停留几秒钟再落下，我们便将落到原出发点以西的某一点上。譬如在赤道上，如果我们有办法在大气里停上一分钟再落下，着陆点将会距离原先升起的那一点有28千米那么远。这好像是一个最好的旅行方法，西哈诺就是这样认为的。他认为如果他驾驶着气球停留在空中几小时以后，着陆的地方将不再是法国而是加拿大了。还有一些多情的人以为地球如果自转，斑鸠便不敢出巢飞翔，因为转眼它便不能看见它的小斑鸠了。但是读者不难答复这种反对的论调，只要你们想到，凡是地上的东西都参加地球的自转运动，即使是大气的最外圈，地球也还是带着它和其他所有的东西一同运行。

如果我们在一艘速度很快的船上玩球，两个球在两个相反的方向上将会碰撞得一样有劲。如果在这样航行的船只的桅杆顶上让一块石头落下，它将垂直落在桅杆脚下，就像船在静止时的情形下一样〔18世纪有人造了一种名叫斯太兹(steiz)的仪器，可以使人看见运动的合成。一辆装有弹簧的小车，在室内地板上滚动。弹簧上面的盆里盛有一枚小球，弹簧一弹，将球抛在空中，与此同时，小车还在迅速地行驶着。小球上升又复下落，虽然小车已经前进，但小球仍然落在原先出发的盆里，好像小车并未行驶的情形那样。我们看得明白，小球并未直起直落，而是走了一段抛物线路程，即从

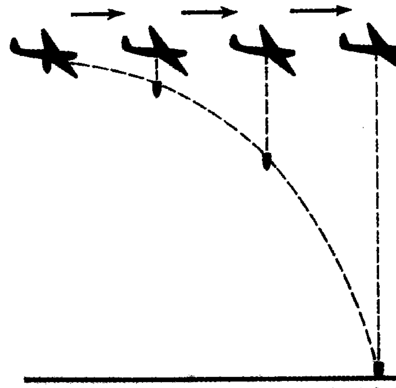


图 83　飞机轰炸时，炸弹以等加速度的运动自由落下，但同时它保留着飞机给予它的水平方向的速度

车中升起的一段和从顶点落在车中的一段，这是在车子行程中所形成的。这样看来，小球的运动显然是由车传给球的水平运动和弹簧给予球的垂直运动这两种运动组合而成的。小球同时遵循这两种运动所合成的运动而运动。有一天，本书作者弗拉马里翁乘气球经过奥尔良城(Orléans)的上空，他写了一封信给该城的主要报馆，信件系上一个重物，盼望它能垂直地落在城里的一个广场上面。他满心以为这封信好像沿着系在气球上的一根线一样，一溜就下去了。可是因为这位飞行家飞得很快，这封信不但没有落在广场上、城市里，却淹没在洛瓦河里。弗拉马里翁说道："我竟把我在中学时学过的'关于同时运动的独立性'的课程都忘记了！"]。船的运动传给桅杆、石头和船上的一切东西，唯有当船推开水面的阻力时，才使船中的人明白船是在运动着。火车、气球和飞机上的情形都与这个情况一样。

因为地球没有遇见外边的任何阻碍，所以在自然界里没有什么东西会因其阻力、运动或碰撞而使我们感觉到地球的运动。地上的东西都参与了这种运动，即使它们高飞空中，也不能例外，因为它们同样具有地球运动的方向和速度，它们即使到了大气的最外层，仍然跟随着地球在运动。

垂直向天顶射击的一颗炮弹，仍然会落到炮管里来，虽然当炮弹在空中的时候，炮管已随地球向着东方前进了几千米。理由是很明显的：当炮弹射出在空中时，并未损失掉地球运动所给予它的速度，且它所接受的这两种运动并不互相抵触。它可以在它向上升 1 千米的同时，向东走 6 千米，即走了一段抛物线路程；又因地心引力的作用，它再沿着这抛物线坠落到炮管里去。这在地面上的旁观者看来，它始终维持在一根垂直线上。

因风的干扰和炮身难于放成垂直两个原因，这个实验是不易进行的。17 世纪梅森(Mersenne)和帕蒂特(Petit)曾经做过这个实验，可是他们并没有找到他们的炮弹。瓦里农(Varignon)在他的论文《地心引力的原因的猜测》一文里，给这个实验画了一张插图，我们把它转载于此(图 84)。图上的两个人站在瞄准天空的大炮旁边，一个是军人，一个是教士，他们望着天空，好像在寻找刚才射出的炮弹。图上印了几个字："它会落下来吗?"图中的教士是梅森神父，军人是军需官帕蒂特。他们把这个危险的实验做了好几遍，由于他们的技术不高明，没有能够使炮弹落在他们的头上，他们便断定炮弹留在空中了。瓦里农没有追究事实，只是叹息道："一颗炮弹悬在我们的头上，也未免太可怕了！"这两位大胆的实

验者把他们的实验和结果告诉了笛卡儿(Descartes)。笛卡儿在这个他们信以为真的结果上得到了他对于地心引力看法的证明。这个实验后来又在斯特拉斯堡市做过,炮弹在数百米之外觅得。这是因为炮身没有完全直立,加以风的干扰、炮弹的旋转、空气的阻力,使得炮弹的轨道改变了方向,造成了弹道学上的所谓"偏差"。

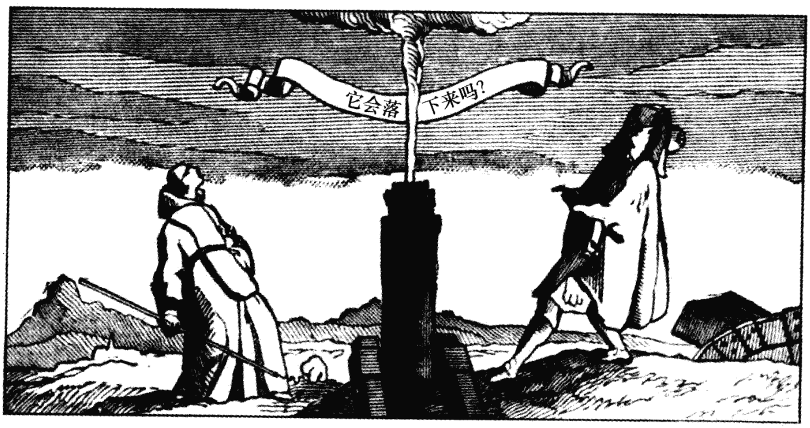



图 84 垂直向上发射的炮弹会不会再落下来呢?
17 世纪的一幅木刻图。

此外,还有一些现象给予地球自转无可怀疑的证据,试举例如下。由于地球的旋转,便产生了一种离心力。这个力在两极为零,在赤道上为极大;距离地轴愈远的物体,所受的这种离心力便愈大。事实上,如果我们把物体由两极带到赤道,因离心力的缘故,这些物体便损失了一部分重量。而且因为地球的赤道带特别突出,物体离地心较远,所以,它更是要轻一些了。

摆钟的摆动也证明了这个事实。在巴黎,一个长一米、放在真空里的摆,一日 24 时内摆动 86 136 次;若把这个摆带到两极,它却要摆 86 236 次;如果带至赤道,它只摆 86 009 次了。每秒摆动一次的摆,在巴黎它的长度是 994 毫米,在赤道是 991 毫米。

从巴黎五层楼上落下一块石头,第一秒所走的距离是 4.90 米;在两极,因引力大一些,它落得要快一些,这距离是 4.92 米;在赤道要缓慢一些,这距离是 4.89 米。

因地球自转而产生的离心力,在赤道上能抵消引力的 1/289,这种离心力是按自转速度的平方而增加的。因为 289 恰好是 17 的平方,假使地球旋转 17 倍快,那么离心力抵消了吸引力,赤道上的物体便不会有重量了。

因离地心愈远离心力愈大,一块石头在地面上要比在深井里向东移动的速度更大。如果我们使一个小铅球掉落在一个深井里,它不走铅垂线的路径,而却向东方偏移一些。

卡西尼(Cassini)曾在巴黎天文台的深井里做过这个实验,别的人在矿井里也曾做过。他们都观测到这种向东偏移的现象,但是实验中的物体受了种种干扰,如物体初落时所受的速度和它所经过的空气的运动〔1903年,弗拉马里翁从巴黎国葬院离地68米高处扔下几粒钢丸,根据计算应偏东8.1毫米,而实际结果是偏东7.6毫米〕,使实验不能得到预期的效果。

地球物理学也提供了许多有关地球自转的证据。地球的形状是一个略成椭圆的球,赤道突出,两极扁平,这恰是旋转的流体所应有的形状。

还有一些现象,例如和江河里旋涡相似的旋风以及赤道带的季节风,它们旋转的方向也可说明是由于地球的自转而形成的,但是,这些现象没有以上几个例证那样有力,因为它们也可由太阳运动的假设去说明。

这里我们应当提到1851年傅科(Foucault)在巴黎国葬院所做的有名的实验(图85、86)。这个实验使我们亲眼看见地球在自转,而不能加以否认。一根钢丝上端嵌在置于屋顶的金属板上,下端拖着一个相当沉重的金属球,球的下方嵌上一枚尖针。这样制成的摆,在运动的时候,摆尖在两个沙盘上划出了痕迹。摆在连续多次的摆动里,针尖所划的痕迹并不互相重合。这些痕迹只在中心相交,显然表现摆的摆动面有由东向西的、缓慢的、持续的移动。事实上,摆的摆动面

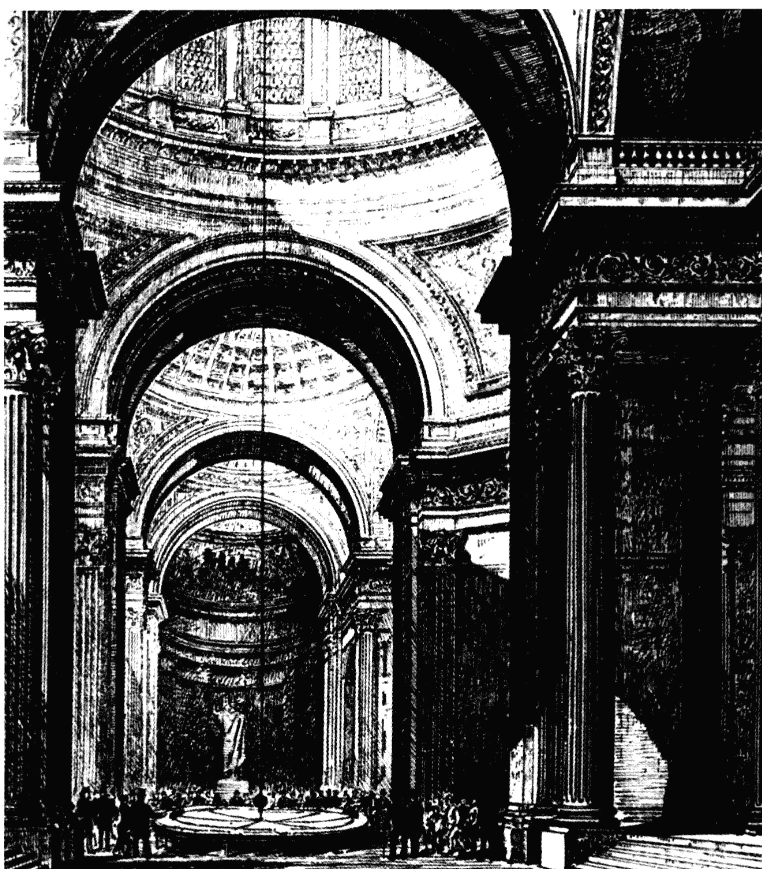


图85　傅科在巴黎国葬院所做的实验(1851)

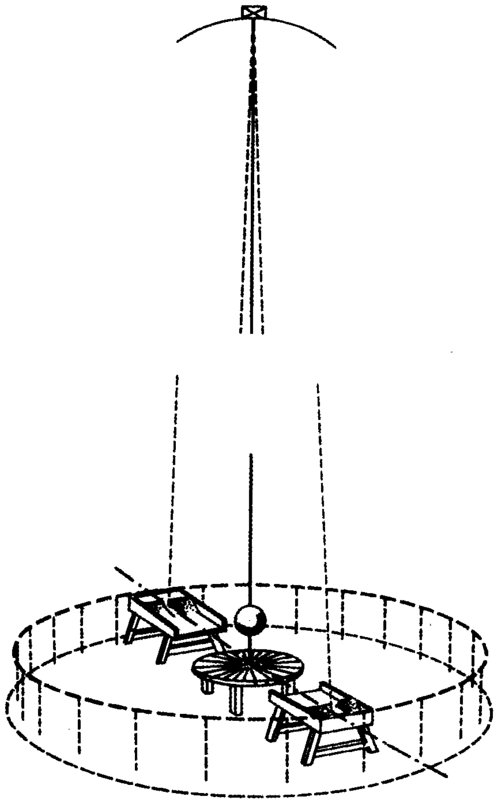


图 86 傅科摆的示意图

是不动的，我们所看到的现象，是由于地球由西向东转，把地面上的沙盘带动的缘故。在这个实验里，在摆的摆动面周围作为标志的东西，应该是在运动着。

假想有一个摆悬在地球的一个极上（图 87），一经摆动后，它的摆动面是固定不变的（不考虑钢丝的扭力），但是地球在摆的下面转动，因此摆的摆动面好像沿着与地球自转的相反方向转动，在一个恒星日里转动一周。

如果把这个摆放在赤道上，它的摆动面便不会有这样的转动了。如果在赤道面上我们使摆的摆动由东向西进行，便没有理由使摆向任何方向偏转；如果把这个摆沿着其他的方向，例如南北向摇摆，我们可以断定也有同样的结果，摆的摆动面总是不变的。

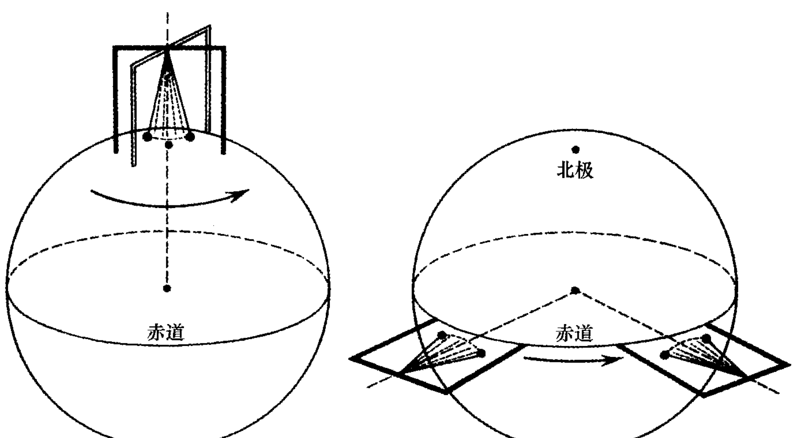



图 87 傅科摆
左图在北极，右图在赤道上的情况。

在既不是赤道也不是两极的其他纬度的地方，由理论可以说明，摆的摆动面转过的速度是与纬度的正弦成正比的。在巴黎，傅科摆的摆动面旋转一周需要 31 时 47 分。因为摆的摆动受阻力而渐渐趋于停止，实验只能进行几小时，但是只要装置得好，已足够证明理论所需要的结果了〔傅科在巴黎国葬院所做的实验，1902 年弗拉马里翁在法国天文学会的主持下复演了一次〕。

长 67 米的摆来回摆动一次需时 16.5 秒。摆底尖针在离心 4 米的沙上所划的连续两条痕迹，相差达 3.6 毫米。

这些便是地球绕轴自转的实际证据。地球绕日公转的证据也是很有说服力的。

首先，所有的行星都围绕着太阳在公转，地球不过是一颗行星，当然不会例外。古代天文学家为了在地球是不动的假说下解释五大行星(水、金、火、木、土)在天球上的视行，把行星的体系弄得异常复杂，甚至想出有 72 个晶体的圆周互相地嵌合着！一直到哥白尼，才说明地球和所有的行星一样，都是围绕着太阳在运动。地球在它大圆圈的轨道上所看出的景象的变化是不难想象的。当我们前进的时候，有些行星好像在后退，有些时候，这两种运动的组合使得某一时刻行星在天球上仿佛固定不动。在地球绕太阳公转的理论下，这些变化便很容易得到解释，而且容易计算。如果采取相反的地心不动的假说，这些现象的解释则极其复杂。在 18 世纪所达到的复杂的程度，使得精通天文的君王阿方索(Alphonse)十世竟这样说“如果上帝在创造世界的时候要找人来提意见的话，我可以劝他采取更简单而不用这样复杂的方式”，可是这位君王为什么不抛弃前人的见解呢？自 18 世纪以来，人们研究了在空中各个方向运行的彗星的轨道，虽然这些披头散发的彗星十分奇特，可是它们却一致与前人假设的体系不符，正如丰特奈尔(Fontenell)所说：“它们早已打破天空的这些晶莹的轨道了。”人们计算彗星的轨道日益准确，已能预测它们在天空再度出现的方位，可是如果把地球当做是不动的，计算就会变得异常的复杂。18 世纪末，在土星轨道之外发现了天王星，19 世纪中叶发现了海王星，1930 年又发现了冥王星。它们都是围绕太阳而不是围绕地球在运行，而且最后这两颗行星，还是数学家按照万有引力的定律首先计算出在 50 亿千米之外有这两颗大星，然后才经人用望远镜观测到的。还须说明在火、木两星之间，我们曾经发现 2 000 多个小行星，它们都毫不例外地围绕太阳在运行。可见太阳系是一个大家庭，只有太阳才是稳坐在中心的统治者。不仅如此，由于地球每年绕太阳运行一周，使我们看见一些由此而反映在天空中的现象。恒星并不是在无限远处，有一些恒星和我们相当接近，距离我们只有几万亿千米。地球绕日运行在空间走了一个直径长 3 亿千米的轨道，如果我们在一年里仔细地观察一颗近星，而把这颗近星附近

的另外一颗远星作为它的背景，我们将会看见这颗近星因地球的自转所形成的现象，即看到这颗星不是固定的，而是于一年内在天上走了一个小小的椭圆。事实上，天文学家就因为测量这些小小的椭圆而算出恒星的距离，关于这些，在本书后面还要讨论到。自哥白尼、第谷、伽利略(Galileo)以来，因为人们未能找到恒星的这种视运动，被人引为反对地球公转的有力论证。但是天文观测的精确度不断地提高，这个论证也和别的论证一样已经被驳倒了。

还有一个证据。由于地球绕日每年运行一周，在天球上将会表现出另一种名叫光行差的现象。星光沿直线以地球公转速度的一万倍向我们射来，如果地球是静止的，我们将直接接收这些光线而没有偏差，但是我们在这些光线下面奔跑，正如在垂直落下的雨点下奔跑一样。我们跑得愈快，愈是应该把雨伞向前倾斜，才不会使我们的衣服淋湿。我们在火车内时常看见，车行方向的速度和雨点落下的垂直速度的两者组合使雨点斜向地落在车厢的玻璃上。那么，我们可以把我们指着星光的望远镜比拟成向着雨点的伞。地球运动的效果，就使我们不得不把望远镜稍微倾斜一点去接收星光。因为地球绕日公转，不断地在改变它的方向，而且在一年之内扫过了整整的一个椭圆，所以我们看见，在天球上每颗星每年内也走了一个椭圆。这椭圆的大小，不但随星与地球的距离有所不同，而且随星和黄道的相对距离也有所不同。这种在前一节已简略谈过的远景效应上的现象，是近代天文学上的一个重要的发现。借着光行差这一发现，天文学家证明了两件事实：既证明了光线的速度是每秒 30 万千米，也证明了地球绕日公转是一个真正的事实。假使地球是静止的，恒星的这两种位移便绝对无法解释。但是这些现象一旦得到解释，又是多么的简单而又清楚呀！

以上所说的地球运动，反映在天象上，使人们可以察觉，除非人们宁愿闭着眼睛而不愿认识真理。今天已经证明的，不单是我们这颗行星有这两种运动，在空间和我们的地球相同的姊妹星也有这些运动。这些运动的理论根据，就是万有引力定律，它已经被近代天文学上的一切事实所证明而成立了。牛顿发现了这一定律以后，今天便可利用它来预测天体间互相吸引的细微影响，甚至可利用它来发现未曾见过的天体。海王星和冥王星就是根据它计算求出，然后才用望远镜去发现的；天狼星的伴星也是这样先由计算发现，以后才被观测加以证实的；而且有 100 多颗恒星的伴星都是这样被证实其存在的(因它们和主星过于接近，人们不一定会看见)。科学上所有的事实都证明了近代天文理论的真实性，并没有一件事实和它们发生矛盾。所以我们敢说，地球的运动是无可辩驳的真理。



图 88　印度洋大科摩罗岛上的卡尔塔拉火山口

# 第七章

# 作为行星和世界的地球

现在我们来谈谈地球上活跃的情况。这个载着我们的球，其赤道处的直径是 12 757 千米。它不是一个球体，它是一个略为扁平的椭球。连接两极的直径比赤道带的直径要短一些，两者之差是 1/297〔更精确的数字是 1/298。——译者注〕，或者 43 千米。在直径 1 米的球上，这个 1/297 的差异不过是 3.13 毫米。地球上最高的山峰是喜马拉雅山的珠穆朗玛峰，海拔 8 848.13 米，在这作为标本的球上也只是 0.7 毫米。所以地球比一个最圆的橙果还要圆，或者和台球一样圆。至于居住在地球上的人，他们的身材真是太渺小了，在 1 米直径的球面上，需要有 3 000 人连接起来，“o”字那样大的范围内，容得下 3 万人身挨着身地躺在里面。

人离地面愈高，眼界愈是开阔，他的眼睛所能看见地球上的圆圈的直径大约随高度的平方根而增加。在 300 米高处(图 89)，可以看见 68 千米外的天界，换句话说，即人的眼睛

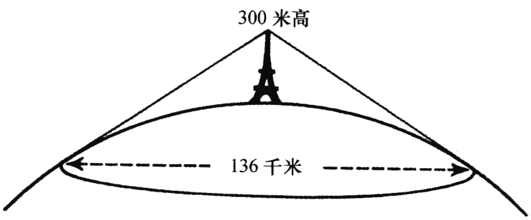



图 89　人站的位置越高，他看见的地平线越远

所能看见范围的直径是 136 千米。在勃朗峰〔欧洲阿尔卑斯山的最高峰，在法国境内。——译者注〕(Mont-Blanc) 4 807 米的高处，当天气极晴朗的时候，如果将折光的效果计算进去，眼睛可以望见 270 千米外的平原。

地球被大气所包围，人在它的下层呼吸与生活着。这大气是氧、氮、氩、二氧化碳等所组成的，还有一些分量时常变化的水汽(水汽是由江、湖、海、洋以及潮湿土地所蒸发而升起的)。大气不是绝对透明的，它漫射日光，使天空呈现蓝色，好像半穹状地盖在我们的头上。空气的分子被日光照亮，使我们白天不能看见星星。最明亮的行星，如金星、木星以及最亮的新星，有时在蓝色天幕上特别突出，就是在白天人们用小望远镜或涂黑的空管也可以看见它们。好的望远镜增加星的视亮度，减少蓝天的光亮，在白天也同样可以望见星座里的明星。

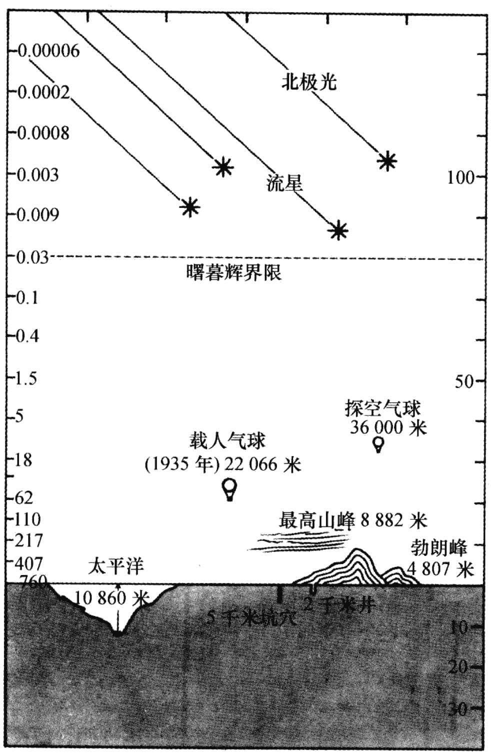



图 90　地球的大气

右边纵坐标表示高度，单位是千米；左边纵坐标表示气压，单位是毫米汞柱。

上升愈高，大气愈是稀薄，可是它并没有确定的上限。人乘气球已上升到了 22 千米高〔斯蒂文斯(Stevens)和安德森(Anderson)，1935 年 11 月 11 日〕，而没有载人的探空气球会上升到 36 千米〔维冈(Wigand)，1930 年〕。人到了 7 千米或 8 千米高处，空气稀薄到不适宜呼吸的程度，便非有帮助呼吸的器械不可了。

曙暮辉的现象给予我们一些关于高层大气的情况。地面上的观测者可以看见，日落时阳光还会在短时间内照耀着高层大气(图 91)。记下黄昏在天顶消逝的时刻，我们便可以算出漫射阳光的气层高度，这高度是 70 千米或 80 千米。1883 年，喀拉喀托(Krakatau)

火山爆发，喷射出大量的灰尘。经过两年之久，这些灰尘还漂浮在大气中，使得整个地球呈现曙暮辉这种特殊的现象。早晚的红霞特别鲜明，那时在法国测得这些灰尘云最高达 72 千米。

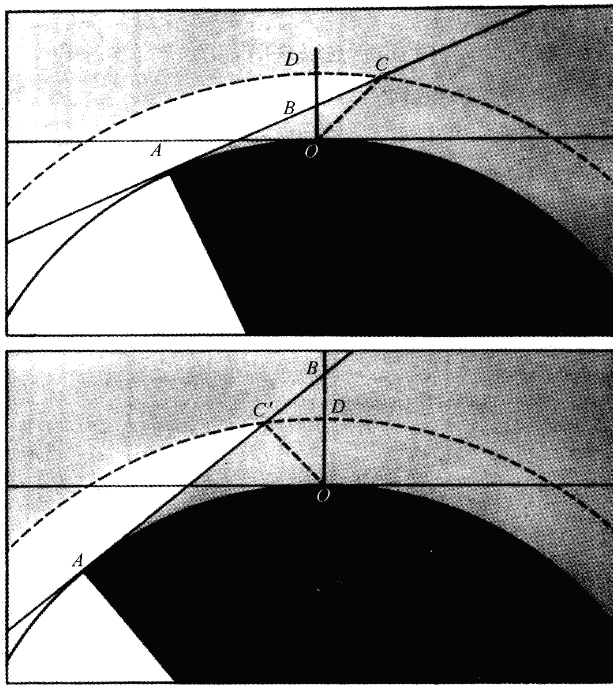



图 91　曙暮辉
观测者 $O$ 看见在地平线和 $C$ 点之间的天空是明亮的。

近年来，利用火箭直接对大气进行研究有了很大的进步。第二次世界大战时，火箭是一种杀人的武器，战后便用来作科学研究。1947 年，有一枚火箭带着各种科学仪器到达 160 千米高处，以后这记录又屡被打破，曾经到达 400 千米的高空〔实际上在本书法文本出版后，1957 年以来地球上连续地发射了一系列的人造地球卫星、宇宙火箭、宇宙飞船，打破了以往任何的飞离地面的高度记录。——校者注〕。在 100 千米高处，气压就只有 0.001 毫米汞柱。至于温度，也发生了显著的变化。利用探空气球我们发现，从地面起至 10 千米高，大气的温度逐渐降低；再往上去 20 多千米之内，气温没有什么变化，常保持在－60℃至－50℃之间(图 92)。地面和地面上 10 千米之间的大气下层，叫做对流层，这以上的大气叫做平流层。

到了 30 千米以上，气温又迅速地增高。这里气温骤增的原因是由于氧气，特别是由于高空相当多的臭氧吸收阳光的能量而造成的。在离地面 50 千米处，气温高至 50℃或者更高些。但是在 55 千米以上，已超过了臭氧层，气温又下降，一直下降到－50℃。然后，温度又升高，至 90 多千米的高处，气温升至 0℃，至 110 千米时又增高到 80℃。

地球上空有一层臭氧，实在是自然的一种恩赐，因为这种气体有一种特性，最能吸收太阳发出的紫外辐射。假使没有这层臭氧的保护，这些极端有害的辐射便会把动物和植物的机体组织破坏掉，世界上便不会有生物了。幸而经常有这一层保护层，不致使人类灭亡。虽然因阳光里紫外辐射的影响，空气中的一部分氧变化为臭氧，但一部分臭氧又在分

解，所以总是维持着一个十分稳定的平衡。30 多年前，法国物理学家查理·法布里(Charles Fabry)开始进行这一观测，以后全球各地陆续进行观测，证明保护我们的臭氧含量的变化是极其微弱的。

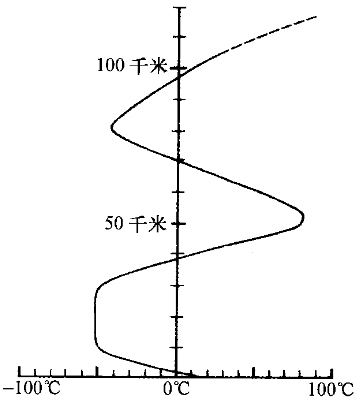


图 92 温度随高度的变化而变化

阳光里的紫外线还有别的效果，它使某些空气层维持在某种特殊的带电情况下，一般叫做电离的情况之下。所谓电离层就是这些特殊气层的总称，它们对于无线电波起一种反射作用，纵然电波走的是直线，而地球是圆形的，也使得电波可以达到距离发射站很远的地方，甚至到达地球的另一面去。电离层有一层名叫 E 层，在白天里最为活跃，它高出地面 120 千米；还有一层在 250 千米或 300 千米高处，叫做 F 层。物理学家每天观测电离层的变化，因为它和无线电通信有关。

在 120 千米高空的地方是流星经常出现的地方。明亮的流星在达到 80 千米高空的地方便已熄灭，较大的流星可以深入下层，有些甚至降落到地面上来。这些在本书第五篇我们还要详细讨论到。极光是由太阳喷射出的质点激发高空的空气所产生的现象。我们测出了它们所在的高度，它们常出现在 100 千米至 120 千米的高空，还有一些出现在 1 100 千米的高空。人们所观测到的地球上的现象再没有比这个更高的了。所以，我们可以认为我们的大气层是有 1 000 千米至 1 200 千米之厚，这以外便是行星际空间了〔1957 年以来从人造地球卫星所得到的资料证明，地球大气层比从前估计的要高，它的高度大约是 3 000 千米。——校者注〕。

和我们直接有关的气象现象，如云、雨、风、雹、风暴、飓风、台风等，都发生在对流层里，而这一层不过占全大气层厚度的百分之一，可算是非常薄的一层。

大气对于天文观测有很大的影响，它使星光偏向，使我们所见的星光的方向不是它真实的方向。这种偏向，叫做天文折光或蒙气差(图 94)。在我们头顶上的点，学名叫做天顶，那里没有偏向的效果，因为光线垂直射在它所经过的气层里。但是距离天顶愈远，这效果便愈显著；接近地平线的时候，这效果之大，能使初升的太阳或月亮虽还在地平线之下却能被观测者看到它已升起在地平线上了。根据同样的道理，当夕阳的下边接触在大海边沿上的时候，其实整个太阳已落在地平线以下了。事实上，地平线蒙气差比大约半度的太阳或月亮的视直径还大一些，而在 45°高的地方，即地平线和天顶当中，蒙气差不过是

一弧分。这是因为星接近地平线时，蒙气差增加很快，而且使初升或刚落的太阳呈现了比较扁平的椭圆形状，因为太阳的下部边缘比上部边缘显然是更被提高了一些。地球的体积是 1.083 亿立方千米。科学家曾用卡文迪什(Cavendish)的天平测定出地球的质量，于是求出地球的平均密度是水密度的 5.5 倍。因为地壳的密度只是 2.7 至 2.8，所以地心的密度应该假设是大于 5 的。大气的质量大约占地球的质量的一百万分之一。



图 93　帷幔形的北极光(出现在拉普兰)

地球的面积为 5.1 亿平方千米，其中 3.57 亿平方千米是海洋，其余 1.53 亿平方千米或者说 1/3 是陆地，但这里面还有一部分是不适宜于居住的。

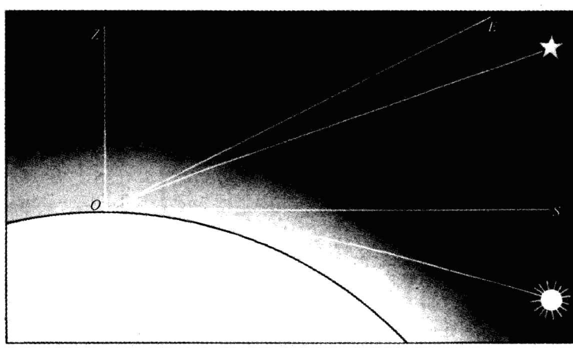



图 94　星光经过大气遭受弯曲而造成的天文折光(蒙气差)

我们所看见的星的方向不是它的真实方向，因为天文折射，太阳接近地平线还没有升起的时候，我们已经可以看见它了。

我们的地球作为一颗行星，有它的生命史，但详细的情况我们还不太清楚。我们的土地里有电流，名叫**地电**。磁针指北而且常常动摇不定的原因还未找到。磁针所指的方向，每日、每年、每世纪都在变化。在巴黎，300 年前，磁针向东偏转；1666 年，正指向北方，后来又偏向西；1700 年由北偏西 8°；1800 年偏西 22°；1814 年再转过来指北。这个**磁偏角**在 1900 年更变为 15°，1950 年为 7°。如果变率像这样继续下去，在 2000 年，巴黎的磁偏角将再为零，即正指北点。

这个奇妙的磁针，在每一天里经常绕着它的轴摇摆，8 时偏东，13 时偏西。在这种周日

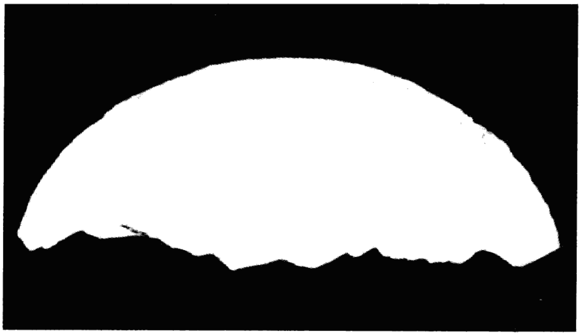


图 95　朝阳从阿尔卑斯山岭后面升起

在地平线附近，因为温度和湿度的不均匀，大气层里发生异常的折射，于是使日轮的边沿变形。

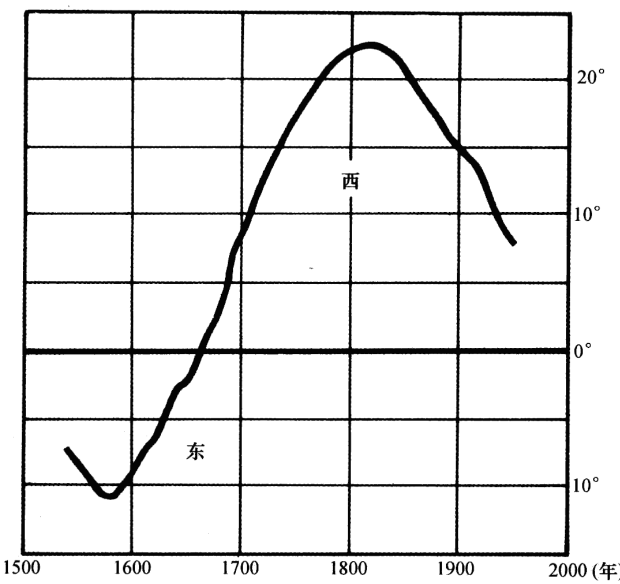



图 96　磁偏角的长期变化(1541 年至 1950 年间在巴黎的变化)

变化里，还时常有或大或小的变动。

周日的变幅以及地磁扰乱的频率，每年也有不同，引人注意的是这些变化都和太阳的活动有紧密的联系。图 97 表示两条可以互相重合的曲线：上面的一条代表 1933 年至 1950 年间太阳黑子数的变化，下面的一条代表磁偏角日变幅的年平均的变化。这两条曲线的相似是非常明显的。如果假设这些日变化是由于上述电离层的变化引起的，这就容易得到解释。因电离层是由于太阳的紫外辐射而形成的，所以它的电离的程度自然和日面活动有密切的联系。

磁针扰乱的周期是变化不定的，扰乱最剧烈的时候，偏角可达几度之大，这种现象叫做**磁暴**。磁暴常发生在日面发生爆发现象的时候，即太阳射出的带电粒子流穿过我们的高层大气的时候。磁暴常和极光一起出现，但是磁暴出现的地区远超过极光出现的地区。巴黎的磁针常随瑞典或挪威天上出现的极光而发生激烈的颤抖，直到远处的极光消逝之后磁暴才能停止。在自然界这本大书中，这种联系表现得多么鲜明呀！

我们仔细观察地球，还会发现一些和天文现象有密切联系的地球物理现象。居住海边的人，谁能不被潮汐引起惊奇的注意呢？海洋每天有两次涌起，波涛冲撞着海滩，碰击着岩石；每天也有两次海水退走，露出海边大大小小、高高低低的暗礁，人们可在那里观察

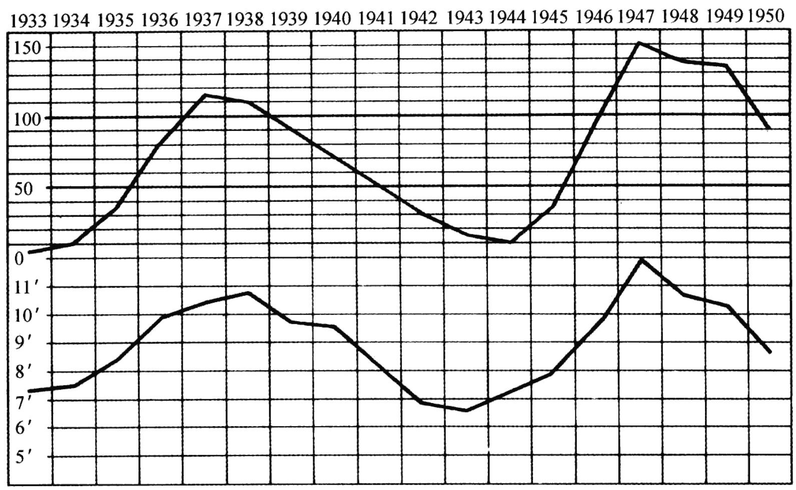



图 97　巴黎磁偏角的变化(下)和太阳活动(上)的相关情况(自 1933 年至 1950 年)

海洋生物繁荣滋长的情况。拉普拉斯(Laplace)曾写道:“当风和日丽之际去看这么大规模的海水在汹涌澎湃着,猛烈地碰击海岸,酿成滔天的波涛,真是一件惊人的奇迹。”

潮汐的原因很久以前便已知道。它是太阳的引力加上月亮的引力一起施加在地球的液体外衣上面所造成的,而牛顿是从理论上加以说明。我们暂时假设地球整个被水盖住(图 99)。太阳或月亮的引力使得海面变形,在固体的地壳上吸引起两个区域:一个是正对日或月的 $A$ 处,另一个是在和 $A$ 点作直径相对的 $C$ 处。这个说法也许会引起没有考虑过这个问题的读者的怀疑,太阳或月亮吸引起和它正对着的 $A$ 处的海水,那是自然的,但是为什么和 $A$ 正相反的 $C$ 处的水也高涨起来呢?可是,只需考

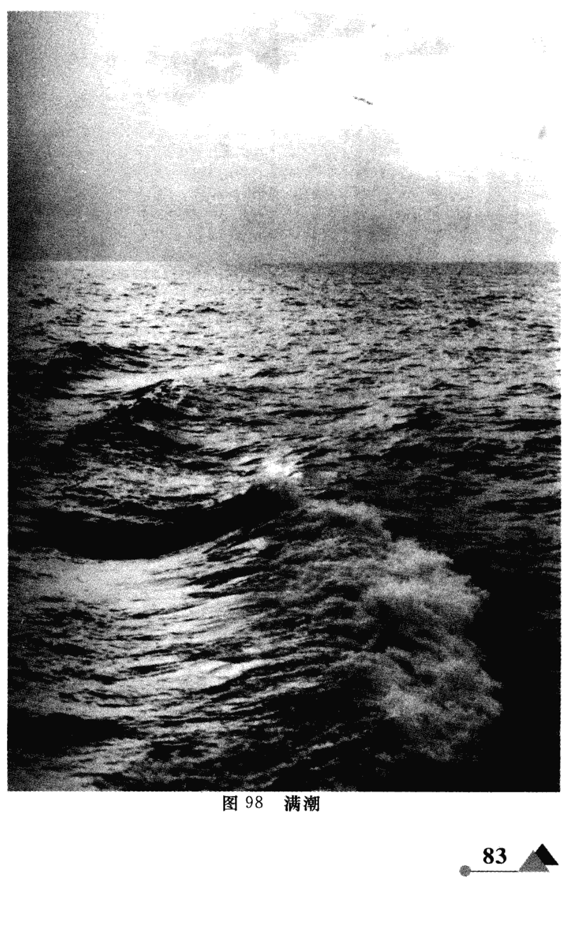


图 98　满潮

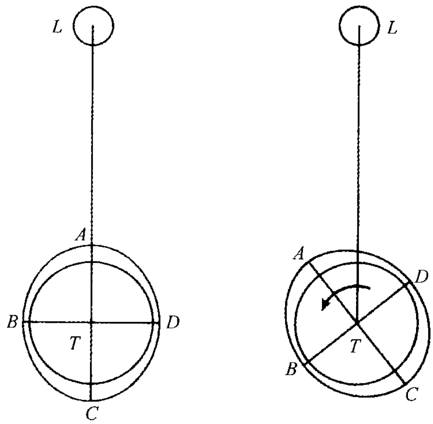



图 99 潮汐

月亮的引力对于海水的影响，右图表示潮汐的波涛被地球的自转带动，太阳引力也有类似的效应，但变幅只有月亮所引起的潮汐的变幅的一半。

虑一下便会明白，这并没有什么奇怪的。A 处的海水所以被吸起，是因为 A 处比起地球整体来更接近于日或月，那里的引力要大一些。相反的，在 C 处，地球受着较大的吸引力，它有后退的倾向，对于地壳来说 C 处的海水便升涨起来。这一切都说明，因有太阳和月亮的作用，使得 A 和 C 两处的地心引力减少，因此也减少那两处的水的压力，于是因力量须取得平衡的缘故，A 和 C 两处的水就上涨，而 B 和 D 两处的海水就下落。因地球的自转，在一天里地面上的每一定点均陆续处在 A、B、C、D 处那样的地位，于是观测者在一天里有两次要看见涨潮和退潮相继而来。

每逢新月时，太阴潮和太阳潮同时发生，所以效果是两者相加的；在满月的时候，也发生同样的效果(图 100)。可是在上弦月或下弦月的时候，太阴潮的涨潮和太阳潮的退潮同时发生，于是两者的效果互相抵消，因月亮和地球很接近，所以太阴潮胜过太阳潮。潮汐大约随月亮的视行而变化，但是潮汐的幅度在上下弦月时比在朔望时显然要小得多。举一个例子来说：1950 年 4 月 3 日，刚满月不久，在布雷斯特高潮的幅度是 7 米；7 天以后的 4 月 10 日，即在下弦月以后不久，低潮的幅度只有 2.5 米。

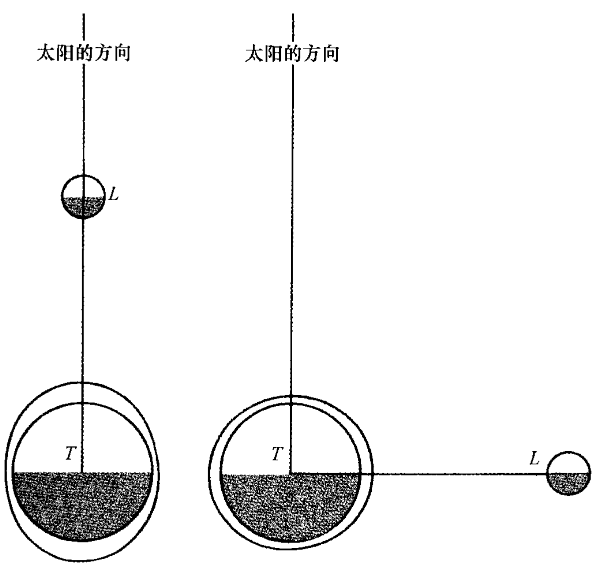



图 100 潮汐

左图表示朔望大潮，这是由太阳和月亮引力的混合作用的结果，右图表示上下弦小潮，是由太阳和月亮的引力互相阻碍的结果。

以上所说的只是关于潮汐的一点基本概念，但是还有别的原因，如地球夹带着海水的自转、高出海面的大陆、海底高

低不平的地势、水的黏滞性等，使得潮汐的理论异常复杂，成为天体力学中的一个困难问题。根据以上的简单理论所算出的结果和观测的事实大有出入。例如高潮的到来绝不和月亮的中天同时，潮总要落后一些（图 99）。在布雷斯特，高潮常发生在月亮中天以后 3 小时至 4 小时，而且大潮也不发生在朔望，而是在朔望以后的一天半。



图 101　墨西哥帕里库廷（Paricuti）成长中的火山

假使整个地面都覆盖着水，潮汐的波浪便是有规律地由东向西传播，可是在有些狭窄的浅海里，情形恰恰相反。海潮通过英吉利海峡需要 7 小时，从布雷斯特到布洛涅（Boulogne），换句话说，也就是向东去，英法两国的海岸愈接近，潮汐的幅度愈变大。在布雷斯特潮高 3 米，到布洛涅即变成 4 米。在大洋里潮流并不显著，可是一到了窄的海峡，如英吉利海峡、爱尔兰海峡、白令海峡，它就非常显著了。每天因水的黏滞性而带来的摩擦，使潮汐的一部分机械能变成了热能，这便是以前讲过的地球转暖的主要原因。

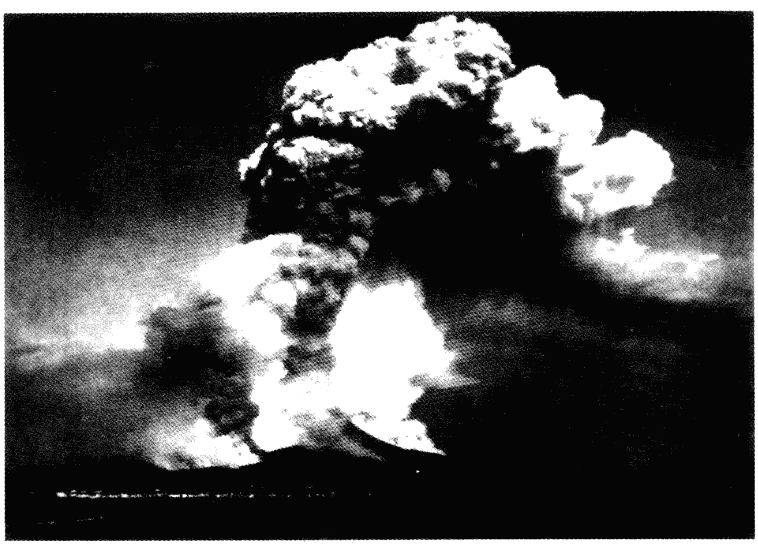


图 102　维苏威火山爆发的情况

固体的地壳亦有潮汐式的变化，这一现象直到20世纪的前几年才被人发现，因为以前没有人找着识别这种运动的标志，而且需要精细的观测才能证明它的存在。自然陆潮也像海潮一样，是因月亮和太阳的周日运动所引起地心引力的周期性变化。陆潮的变幅常很小，最多不过几分米。陆潮使得铅垂线有微小的变化。我们以为自己、房屋和精密的仪器都是稳定地安置在坚实的土地上，但事实上却不是这样，我们是居住在受着各种外界影响的动摇的地球上面。还有，因为地球内部的变动，有时候在地面上亦出现可怕的现象，如里斯本(Lisbonne)、墨西拿(Messine)的地震，喀拉喀托(Krakatau)、马提尼克(Martinique)的火山爆发，其间死亡人数常以数千计〔最近在1960年5月21—22日在南美洲智利发生的大地震中，至少有5 000人死亡。——校者注〕。幸而这种灾难性的变化相当稀少，在天文学家的眼光里，我们的行星上的日常变化是相当微小的，只有用灵敏精确的仪器才能将地球的这种活动记录下来。一个世纪以前，没有人怀疑地轴的固定性，可是在今天，我们知道，地极每天都在移动，这种移动的分量虽然微小，但是还是可以在地面上标记出来。我们怎样能够发现这种不规则的运动，而且描出它的曲线呢？(图103)方法是简单的：如果两极固定不变，地球上每点的地理纬度也就不会变。天文工作者能很精准地测定他们的子午仪所在点的地理纬度，可是发现这些纬度随时间在做微小的变化，于是他们根据这些变化定出地极的运动。图103表示地球的北极在1900年至1908年间的移动的轨迹。图上1/10

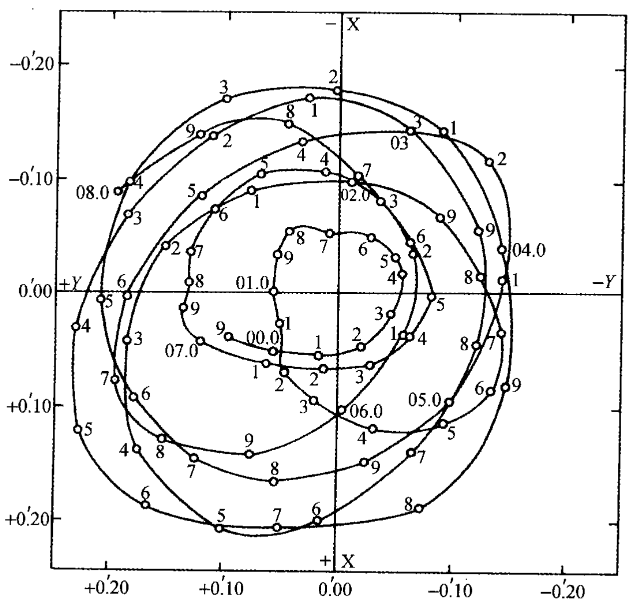



图103 地球北极的移动(1900—1908)

图中小圈表示极在每1/10年的位置，X轴指向格林尼治，1/10弧秒在地面上相当于3.10米，极离它的平均位置从未超过9米。

弧秒相当于地上的 3.10 米，这样就可以确定图上的比例尺。极移的范围从未达到 20 米以上。这些运动自然是地球上的特别是季节性气象变化的原因。

## ◀ 地球上的生命 ▶

地球上还生存着有机的生命。植物装饰着地面，动物繁殖其间，人类居住生息。据最近统计，地球上的人口约为 23.4 亿〔这是本书中文译本第一版出版时的统计数字。——编者注〕，每秒钟大约出生一人，死亡一人，但是出生率要比死亡率大，所以人口在不断地增长。自从地球上有人类以来，已经生存过几十万亿人了，但是他们都相继死去，生命是不断地在新陈代谢。从腐朽的老橡树上生成的一颗种子，组成了新生产儿的身体上的细胞，而这产儿不久又将消逝变化。经过了若干世纪后，生命常被别的生命所代替，如果说生命是常存的话，但是，活跃的不是相同的心，含笑的不是相同的眼。死亡不断地把人和物送到坟墓里去，但是生命的火焰始终是光明的。地球不断给人以果实、牲畜和财富；生命在流转，春天常回来。有人认为，我们的生命虽然脆弱而且短暂，但它却是我们行星的生命中一个组成部分，正如千年古树上每年的叶，也如苔藓和霉菌那样，仅在地上繁殖一会儿，只作为行星的伟大生命的一个过程罢了。

人类对于土地环境和气象变化适应的程度，比别的生物还要低，但因精神的活动、知识的进步、人类能逃避自然的威力，得以生息于各种气候之下，但却不能避免推动整个地球运动的力的影响。

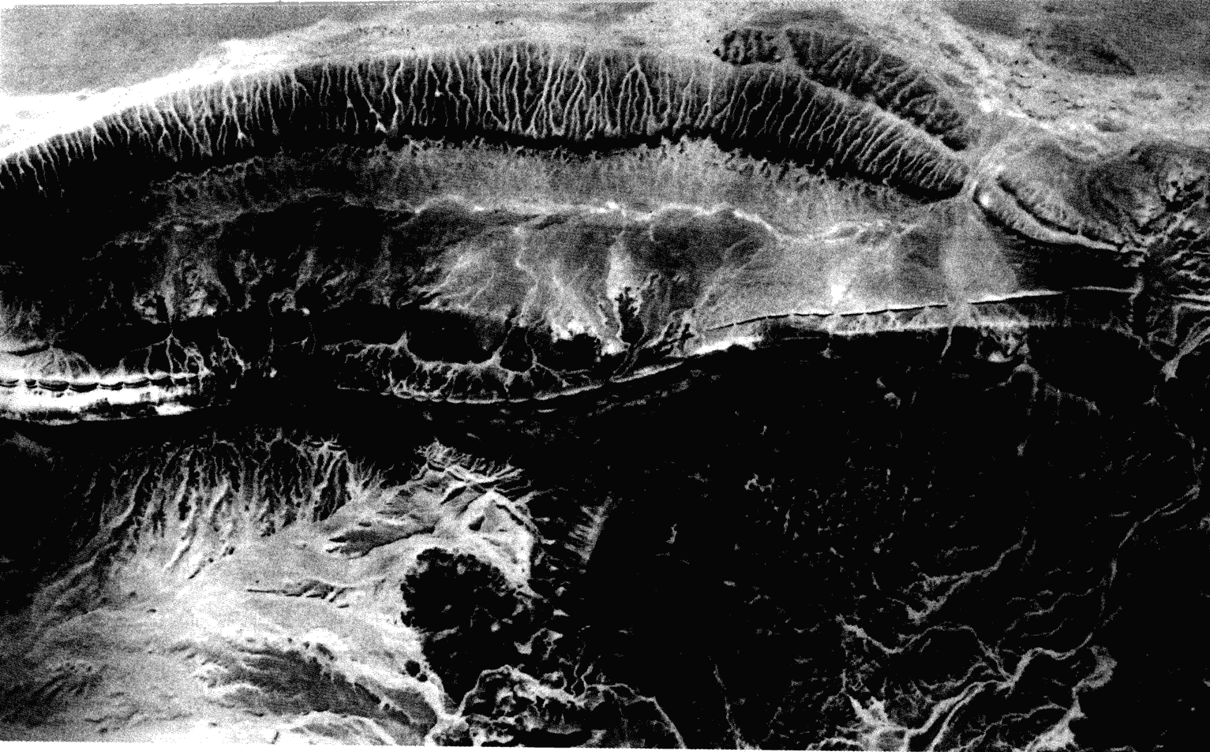


图 104　沙漠区的侵蚀(撒哈拉沙漠里的萨乌拉区)

# 第八章

# 地球的起源

以上所谈的使我们认识了人在宇宙中的地位,使我们明白地球是天上的一颗星球。这就是我们对于地球的正确的、初步的认识。现在,我们就按着宇宙间距离和位置的天然次序来谈谈别的星球。我们谈论的次序,是按照天体距离我们远近的次序。我们在宇宙旅行的第一站便是月亮,我们将在它的表面停留,欣赏它奇特的风光。它是和我们最接近的星球,可以说,和我们是一体,因为它总是绕着地球转动,距离不过是地球直径的 30 倍。

随后我们就去谈谈太阳,它是行星系的中心,我们将在这巨大的熔炉里看见分离的元素异常活跃,就是它们,将有益的光辉散播给所有的行星世界。

我们将在每颗行星上停留一会儿,从和太阳最接近的水星,以至现在所知道的太阳系

边界的冥王星。至于卫星、日食和月食、流星、彗星等都要引起我们的注意，使我们得到所需要的知识。

这不过是我们旅程中的最微小的一段，因为我们还要跳出太阳系的边界，去游览恒星世界。每一颗恒星都和太阳一样，发出自己的光和热，也许还有它的行星系统，在这些行星当中，也许有些是可以栖息生物的。在这里可以说，我们已经进入了无限的境界。太阳之外有太阳，世界之外有世界，为数之多，不只以千百计，而是以亿兆计。半人马座α星离我们 40 万亿千米，天狼星离我们 80 万亿千米。可是这些太阳还是最近的，而且可以说是很近的。在这一切太阳之外，还有别的宇宙在发光，望远镜的能力虽强，也难窥测宇宙的深渊。无限的境界总是在向外扩展！

在我们还没有作这奇特的游览（无疑它将给予我们丰富的令人惊奇的知识），还没有离开这寄居的、作为观测站的地球而进入空间的黑暗以前，回顾一下地球的命运和它过去的历程，那也不是无益的。天体起源论，基本上是一些猜测的看法，因为没有人亲眼看过行星的形成，而且这一变化可能发生在几亿年以前。天体起源论不同于物理、化学那样的科学理论，它仅是一些假说。在人类思想进步的每一个阶段里，聪明有远见的人根据物理、化学、生物的知识，企图对天体的起源加以解说。虽然在物质的构造或能量的转换上种种伟大的发现都扩大了知识的领域，但是唯有天文学上的进步，才不断地扩大了我们所要认识的境界。所以，天体起源的假说是科学进步中不断地加以综合的假说，就它的性质来说，总是暂时的、时常变更的。

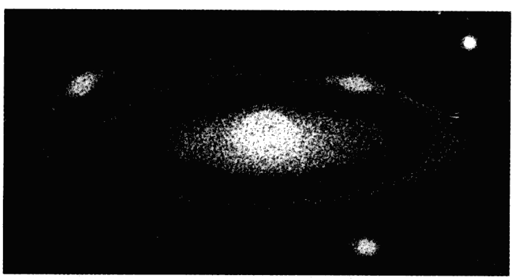

图 105　拉普拉斯（1749—1827），《天体力学》和《概率论的解析理论》两书的作者

太阳系的起源也不能脱离这一个法则，虽然行星和多数卫星同出于一个起源，就事实来说，显然是很难置疑的。首先，行星围绕太阳运行的轨道面是很接近的，它们都离黄道平面不远。如果我们把太阳系描绘在一张纸上，或者说，在一个平面上，那是和真实的情况很接近的。卫星的轨道和黄道所成的交角也很小，例如月亮的轨道便是这样。

第二件值得注意的事，便是这些天体都朝一个方向运行。行星绕日公转，无一例外地都和地球绕日公转的方向相同，而且卫星除极少数的例外也是这样的。行星绕轴的自转，除天王星之外，也都和地球绕轴的方向一致。在太阳系

内我们所知道的 1 600 多种公转或自转运动里,不过仅有十几个特殊的情况。就其整体来说,太阳系是很扁平的,绝大多数的成员都朝着同一方向运行和旋转(唯有彗星是例外,需分别加以讨论)。一切假说必须能说明太阳系里这些显著的一致性。如果否认地球和行星有相同的起源,这样的均一性便很难解释了。

还有第三个证据:行星和太阳的距离不是互不相关偶然形成的,这一事实在 18 世纪已经为提丢斯(Titius)和波得(Bode)所说明。行星和太阳的距离实际上是一种几何级数。这一条法则的意义在后面还要说明,现在我们只简略地说:从一颗行星到太阳的平均距离,大约等于它轨道外面的另一颗行星到太阳的平均距离的一半,这至少对于地球以外的行星是这样的(提丢斯-波得的法则,以后要说明也适用于地球和地球轨道以内的行星)。所以,小行星的平均距离(离太阳的平均距离)约为火星距离的一倍,木星的平均距离约为小行星平均距离的一倍,土星的平均距离约为木星的一倍,天王星的平均距离约为土星的一倍。但是海王星破坏了这一和谐性,然而我们须注意到,在天王星和太阳的距离两倍远处,我们找到了冥王星。


图 106　拉普拉斯假想的原始星云

一个半世纪以前,拉普拉斯根据康德(Kant)和布丰(Buffon)的看法提出一种太阳系起源的假说,他认为上面所说的事实,在他的假说里都得到了解释。拉普拉斯认为太阳系是由星云凝结而成的,因施于星云物质上的离心力和万有引力的作用,原本极度弥漫涣散的星云(超过最远的行星轨道的范围)逐渐变为很扁的椭球,其中心有一个较密的核。凝结继续进展,星云的形状终于变成中心的球状物质被相对稀薄的赤道圈所环绕。这些环状物渐渐从星云本体分离,造成若干同心环,逐渐远离本体。中心物质密集至相当程度,便由星云形成恒星的形态,那便是太阳;同时,那些不安定的同心环终于被破裂,环上的物质凝结成椭球状的核心,由星云变为行星,再以同样的程序形成了卫星。在这一假说下,行星的轨道不会和星云的原始赤道面远离的,一切行星绕日公转的方向亦会和凝聚期中星云自转的方向一致的。

拉普拉斯本来不喜欢作不能验证的假说,他对于太阳系起源于星云的理论只写了几页文学意味多于科学意义的文章。他绝没有料到,他的这个假说引起了后人极大的注意,得到了无比的声誉。拉普拉斯具有数学的天才,唯有对这一假说没有加以数学的阐述,也

许他知道里面的困难是难以用数学说明的。可是他的后人洛希(E. Roche)、法伊(H. Faye)、庞加莱(H. Poincaré)等却试用天体力学去验证这个凝聚的假说,去说明太阳、环状物和行星的形成,那时他们才感觉到拉氏的文字叙述和真正的科学理论相差得很远,到处都是困难。要说明行星绕轴自转的方向和提丢斯-波得定律,还须加上一些不太可能的假说。20 世纪初期,太阳的辐射能量从太阳物质的凝结而来的理论,在物理学家看来是有些神秘难解的。如果这样,按照经典物理学的原则,太阳在几亿年前早已熄灭,可是现在它还丝毫没有衰熄的迹象,并且仍像一颗年轻的星那样发光。

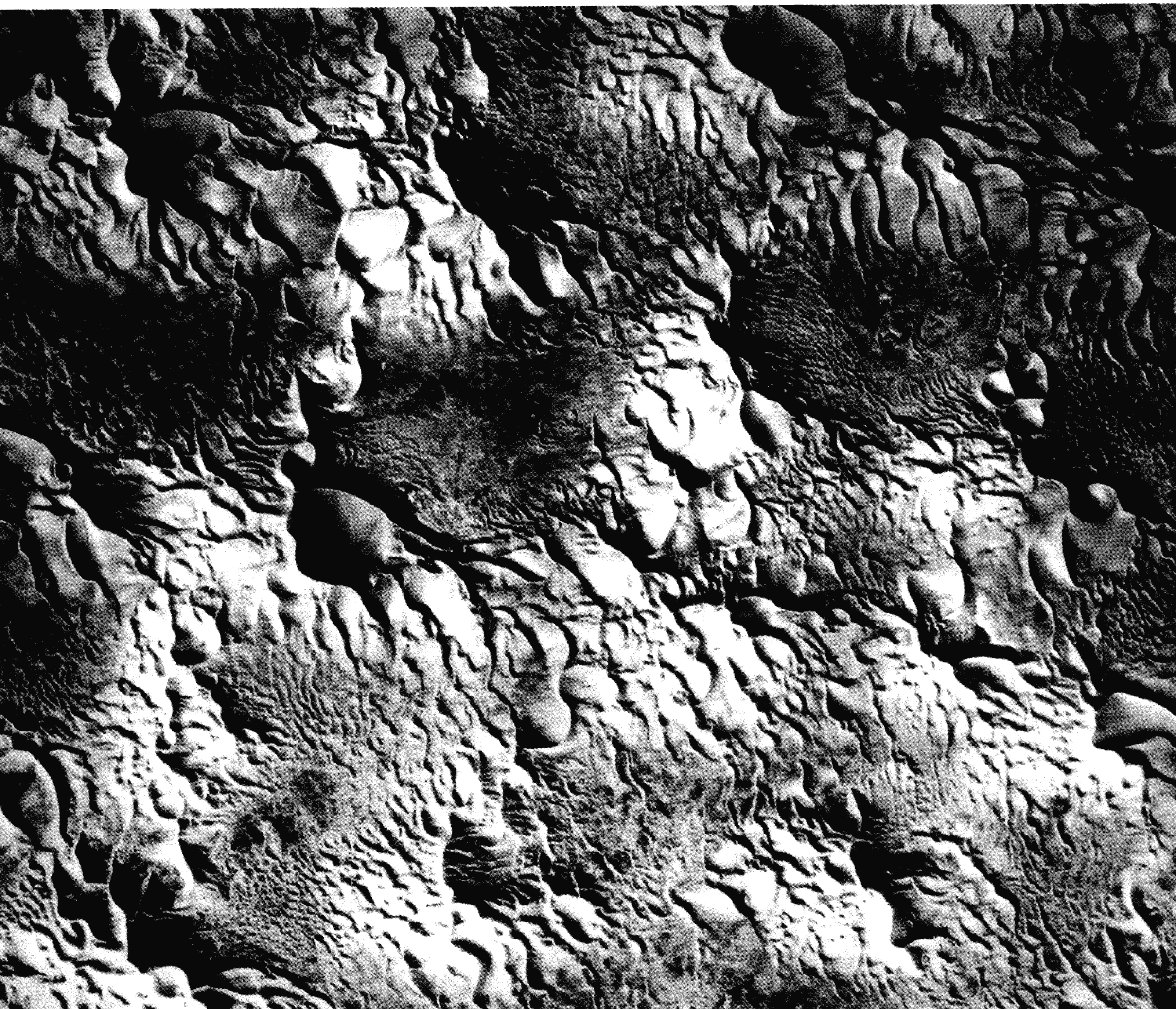


**图 107　沙漠里高低起伏的沙丘**

我们将铅弹射击在钢板上的时候,铅弹的动能变为热能。根据同样的道理,原始星云里的分子,当其向中部核心坠落时,它们的动能亦转变为热能。由此可见,一团比较寒冷的星云可以因凝结而变成一颗耀眼的星球。但是,当凝结的过程完了或者非常缓慢的时候,这颗星在最大光明之后,便进入了衰颓的阶段,由变冷而终于熄灭,起初缓慢,继后逐渐迅速地进行。如按太阳现在发射光和热的能量计算,如果以为这一切能量是由凝聚而来,那么,太阳的发光期只有 2 000 万年,但是这个时间,在地质学家的眼光里确是太短暂了。有许多遗迹使我们相信,在 10 亿年以前,地球上已有生命,那时的太阳和现在的情况没有什么区别。在这所谓地质时期里,太阳不但没有熄灭,而且它的辐射能量并未减少,这就是说,它所蕴蓄的能量过去是、现在还是远远超过仅是由凝聚而来的能量。然而,这种似乎无穷的能量,究竟从何而来呢? 这在 50 年前还没有人能够加以说明。当时,这一困难虽然没有克服,但它却动摇了拉普拉斯的假说。

放射性物质发现以后,开始了原子物理和核物理的时代,于是在这一难题上出现了新的曙光。今天我们知道,恒星特别是太阳,是核反应的场所,从这一方式发出的能量之巨,绝不是最猛烈的化学反应,更不是力学现象所可比拟的。太阳之所以能够将现在发放能量的速率维持几亿年而不衰减,是由于它的氢元素聚变为氦元素之故〔由氢元素变成氦元素,是一种聚合反应。在聚合反应过程中,有巨大的能量放出。——编者注〕。太阳的温度不但不降低,而且缓缓地在上升。这样用去的氢只是一个微小的分量,积蓄的氢还可以放射数十亿年!

天文学家明了这一重要之点以后,便转过去修正拉普拉斯的假说。按照这种假说的原来说法,一团弥散、相当寒冷的星云,因凝聚而变成炽热的星球,一方面是太阳,另一方面是行星。所以地球从前是一个炽热的球,经历过气体、液体和黏体三个阶段,它的自转运动使它变成扁形,如像测量学家所测出的那样。地球经过漫长的火热期才形成一层薄薄的硬壳,接着便形成充满沸腾热水的海洋。这些海洋经过冷却以后才出现生物,同时,经过能改变地质情况的火山作用,才塑造了地壳的形态。

地球在炽热情况下从星云中分离出,再经过一个火热的时期,这个假说,在今天我们已经不十分相信了。根据近代的研究(我们就要提到的),地壳的年龄大约和银河星系的年龄相差不远,至于我们的太阳系比银河星系先存在,这种说法的可能性很小。为了调和这些估计的数字,便需缩短地球初期的历史,假设它在形成时温度并不算高,而且已有一个硬壳。同时还可无矛盾地假设它具有相当的可塑性。不久以前人们还以为这只是在高温下才出现的性质,可是今天我们明白,寒冷的固体物质在高压下也会像液体那样流动。于是我们不需假设地球曾有过一个炽热的时期,也能解释它的扁平的形态了。



图 108　霍加尔火山口及由火山口喷出的岩浆流动情况

现今比较受人欢迎的太阳系起源学说，好像是魏茨泽克(Weizsäcker)的假说。据魏氏的意见，在太阳已经成为和现今的形态差不多的个体时，诞生行星的赤道环圈已可能在其周围形成。这个环圈上的物质也许取自星际物质，它在原始的太阳周围形成一个大直径、薄薄的轮盘。它的密度很小，它的质量不超过太阳质量的1/10。它的质点按照开普勒定律围绕太阳转动，这些质点距中心愈远，角速度愈小。根据理论可以说明，这种情况适宜于互相嵌合的旋涡的生成，而且这样形成的环和太阳的距离是按照几何级数增长的(提丢斯-波得定律)。在赤道圈内。每一同心环都可以形成五个旋涡(图 109)。

但是这些旋涡是很不稳定的，在极短期间，也许在几年内，一部分物质坠入太阳，一部分物质逃往空间，剩下的物质在各环的顶端形成了行星。魏茨泽克的理论虽然还没有将拉普拉斯假说上的困难完全消除，但是除了说明提丢斯-波得定律之外，它还能解释许多重要的事实：如行星自转的方向，行星的物质分布的规律，行星密度很大的差异；而且它并

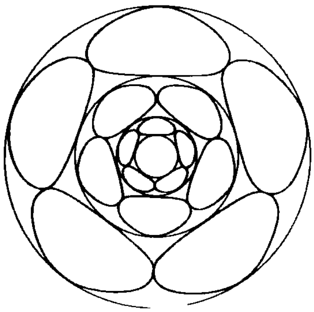


图 109 魏茨泽克假设中的旋涡
行星在大块旋涡的界限上形成。

不需要假设地球在形成时有很高的温度，像一个冷却的小太阳，其上面覆盖着沸腾的热水。这些新观念更是与现今地质学相符合的。地质学家认为，大陆和山脉的形成并不需要假设是灾难性巨变的结果。他们不同意居维叶(Cuvier)的见解，他们认为即使在生命出现以前，现今的地质因素已经在起作用，使地球具有我们今天所看见的面貌。我们只需要承认这些因素在不断地作用了几十亿年。火山、冲刷和沉淀所产生的效应在我们眼中之所以伟大无比，是因为这些效应在地球初期便已开始，并且继续不断，没有止息。山岳的堆砌需要几千万年，再被削成平地所需的时间更是漫长。地球也像生物一样，先生成，然后缓缓地变化，以至终了。

地球内部的构造是怎样的呢？我们对于围绕它的大气、覆盖它大部分表面的海洋以及在它表面上薄薄的沉淀层都有直接的了解。在这些沉淀层下面的花岗岩层，地质学家叫做硅铝岩，以填平作用著名，它的厚度约有 20 千米，密度不大，只有水密度的 2.7 倍。花岗岩层下面是玄武岩层，愈往下密度愈增大，叫做硅镁岩。因在 300 千米的下面温度高达 2 000℃，这里的岩土是胶状的，具有可塑性，它是火山熔岩的来源。

300 千米以下的情况，便完全出自猜测了。这些知识从地震现象的解释而来，因地震波穿过地球的内部，而被记录在地震仪上，使人们从其效果去追究原因。这些地震波在地下某些岩层面上反射，犹如光在镜面上反射一般，这便是岩石性质改变的区域。根据布伦(Bullen)的研究，从硅铝岩层到硅镁岩层，密度从 2.7 增至 3；到地面下 3 000 千米处，密度达到 5；再下去，密度由 5 骤变至 9，继后又慢慢增长；到地面下 5 000 千米，即离地心 1 370 千米处，又有第二次的骤变，密度由 12 变至 18，然后至地心便无多大的变化了(黄金密度是 19.3，白金密度是 21.4)。从地面下去，压力增长很快，到地心达 400 万标准大气压之巨。至于地心的温度，还不太清楚。如果按照一般的假设，放射作用在地球中心不如地壳附近强烈，那么，入地愈深，温度是否继续增高，这还不能确定。在核心区，每加深 1 千米，温度是否像在硅镁岩层那样增长，现在也不能肯定。

在 19 世纪，地质学家借着化石学和古生物学的帮助，将各种地层加以分类，并按它们生成的年代加以排列。但是地质年代的量度，即使以相对数字表示也还是猜测的。只有斯堪的纳维亚的冰川沉积岩曾被人一层一层地细数至 1.2 万年。这是一个例外的情形。

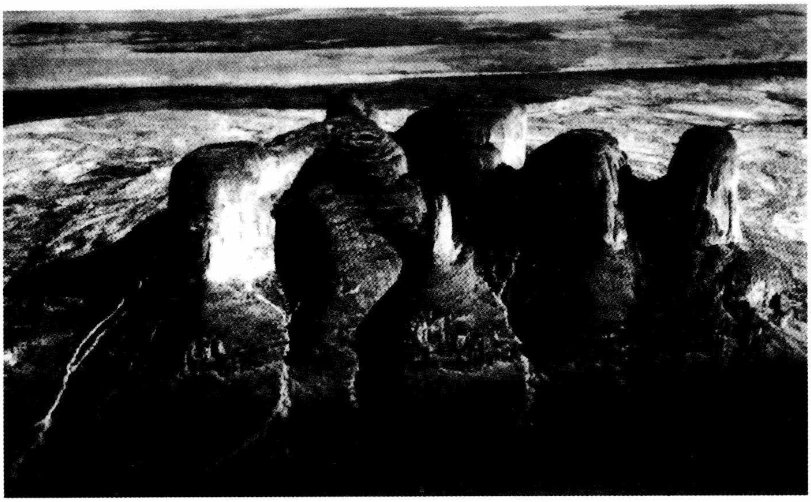


图 110　非洲尼日尔（Niger）河的洪博里（Hombori）山峰

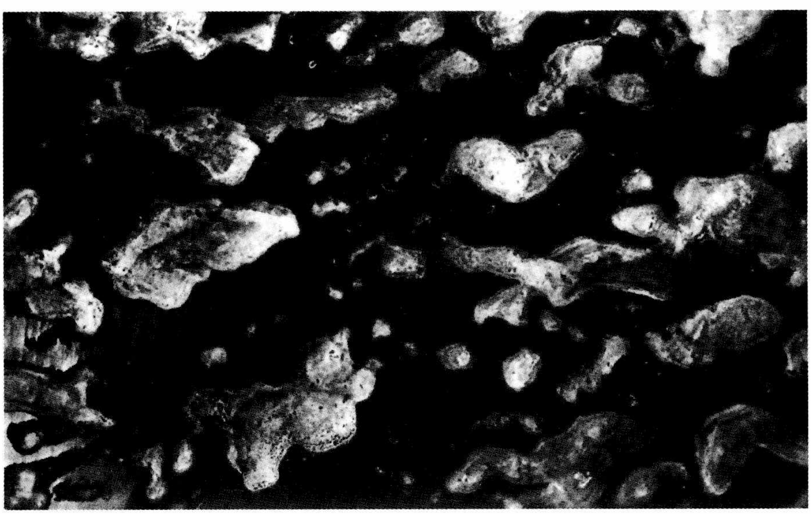


图 111　非洲乍得湖里的浮岛



**图 112　水平向的沉积岩层**

美国科罗拉多州(Colorado)的大峡谷。



**图 113　沉积岩的垂直褶皱**

美国蒙大拿州(Montana)的天峰。

可是地质研究的主要成果已能以一种可靠的数量级来表示地球的年龄，这一研究特别说明了地质年代的悠长，而且说明了变化是持续的，地球并不是因突变才成了现在的情况。但年代愈往上溯，可用的资料愈少，因而对地层和化石的直接观测无法进行，因为这些遗留物由于变形或毁坏，已经消逝不可复得了。因此，我们对于前寒武纪和太古代的知识是极稀少的，只感觉它占去地球历史的一大部分而已。至于根据天体起源论的假设所算出的地球的年龄，总具有猜测的性质，正如用凝聚理论来推算太阳发光的年代和太阳冷却的岁月一样的不可信赖。

幸而近几年来，原子核物理学在这个问题上提供了一个满意的、合乎科学的解答，可算是牛顿和拉普拉斯以来的一种伟大的成就。我们先对放射现象的基本概念作一简要的介绍。

天然的放射物质是自然的、持续的、不可逆的变质的元素，它在变化过程中发出辐射，最终变成了新的稳定的元素。例如，铀和钍放出氦核而蜕变成铅。天然的铀是两种铀的混合物，它们的化学性质完全相同，因此不能用化学分析的方法把它们分开，可是它们的放射性质却有差别，这两种铀就叫做**同位素**。同位素的差别是它们的原子核内部组成的不同。关于这一点，我们还必须稍加解说。物理学家把物质化学变化中的最小微粒叫做原子，它是由一个带正电的核和若干围绕核运动的带负电的电子组成的。物质的化学性质决定于核外围的电子数目。由此可知，铀的两种同位素的电子数是相同的。因放射性是出自原子核，可知这两种铀的核是不同的。核的电荷是由其中名叫质子的带正电的粒子而来，质子的数目常等于核外围电子的数目，另外，原子核内还含有不带电的名叫中子的基本粒子。一种原子具有一定的性质，是由它的质量数，即核内的质子和中子的总数所决定的。例如，氢原子只有一个电子和一个质子，而没有中子，所以它的质量数是1。同位



**图 114　古生代末期出现的脊椎动物**
在位于俄罗斯东北的佩尔棉(Permin)发现。

素是不同的原子，它们核内的质子数相同，而中子数不同，因此它们的质量数是不同的。例如铀的两种同位素，质量数是235和238，一般常用$U^{235}$和$U^{238}$两种符号表示。同样，天然钍的符号亦写为$Th^{232}$。

这些元素由于蜕变都产生铅和氦，但是这些铅是三种不同的同位素，用上面所说的符号，可将这三种变化表示如下：

$$U^{238} \rightarrow Pb^{206} + 8He, \quad U^{235} \rightarrow Pb^{207} + 7He, \quad Th^{232} \rightarrow Pb^{208} + 6He$$

（Pb是铅的符号，He是氦的符号）

要了解如何根据这三个核的蜕变方程去决定地球的年龄，必须先说明放射性物质的周期是什么意义。原子的蜕变使得放射性物质的质量逐渐减少，至于蜕变后产生的固体物质（如上面三个例子内的铅），便逐渐增加。所谓放射性物质的周期，便是这种物质蜕变一半所需的时间，因此又叫做半衰期。实验室里对于随着放射现象而来的辐射的测量，我们知道铀-238的半衰期是45亿年，铀-235的是8.5亿年，钍-232的是140亿年。我们并且知道，没有任何因素能够改变这种周期，换句话说，我们不能使用任何方法去增长或缩短放射性物质的半衰期。就是因为放射性物质的这种周期的恒定性，它们便成了计算地质时期的可贵的计时钟。在一块岩石里去测定铅和它的组成部分的铀或钍的比例，便容易断定那块岩石的年龄，换句话说，即断定自它生成以来所经历的年代。



图115 古生代的叶化石

有人会问，这种在今天是一定的周期，怎能知道在地质年代里也是一定的呢？矿物学家对于这个问题的回答是很有说服力的。在显微镜下考察有些云母矿的晶体，发现上面有许多名叫“多向色晕圈”的小黑点。这些晕圈天然生成在云母矿所含的放射性物质的周围，它们是放射性物质在蜕变时向各方面射出氦原子所造成的。黑圈的半径只与被射出的原子的能量有关。科学家观察过来源不同、年代不同的各种云母矿，发现它们上面的晕

圈的大小总是一样，没有差别。因此产生多向色晕圈的放射性物质的性质，至少在10亿年以来没有发生变化。

这个质量比的方法还有另外一种验证，那便是借含有两种铀、一种钍的岩石，计算其中所含的三种同位素铅的分量，然后比较由此推出的三种年龄。下面这一个例子所得出的结果与此是很相吻合的，由一块属于上泥盆纪的岩石所估计的年龄如下：测量铅-206和铀-238之比，得2.35亿年；由铅-207和铀-235之比，得2.54亿年；由铅-208和钍-232之比，得2.66亿年。对于更古的，如对20亿年前的前寒武纪的岩石来说，由这种方法所算出的各种年龄，其差异亦并不比这一结果更大。

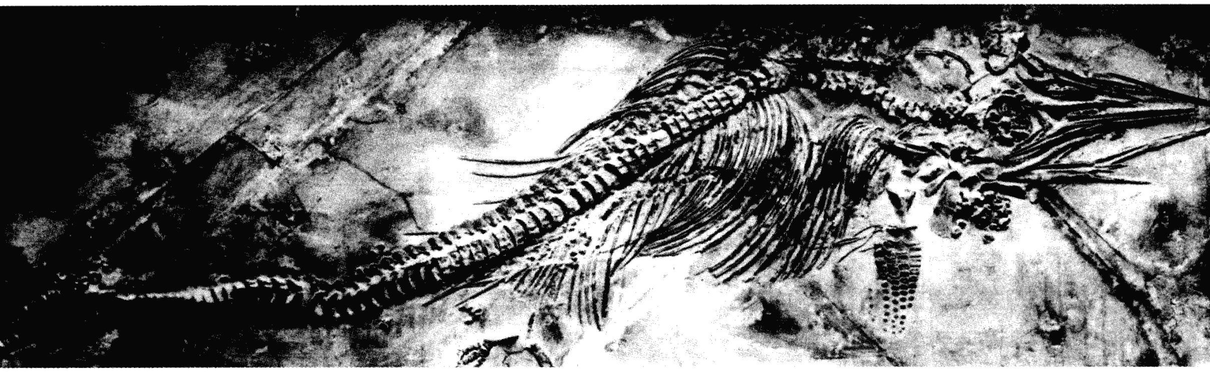


图116 鱼龙类动物化石（中生代）

上面叙述了岩石的年龄和形成岩石的地质期的年龄。至于地球的年龄，我们利用较为复杂的方法加以估计。譬如利用来源和组成尽量不同的岩石标本，求出其中铅的三种同位素的含量和这三种当中的任何两种之比，而后加以推断。科学家借此方法，确定地球

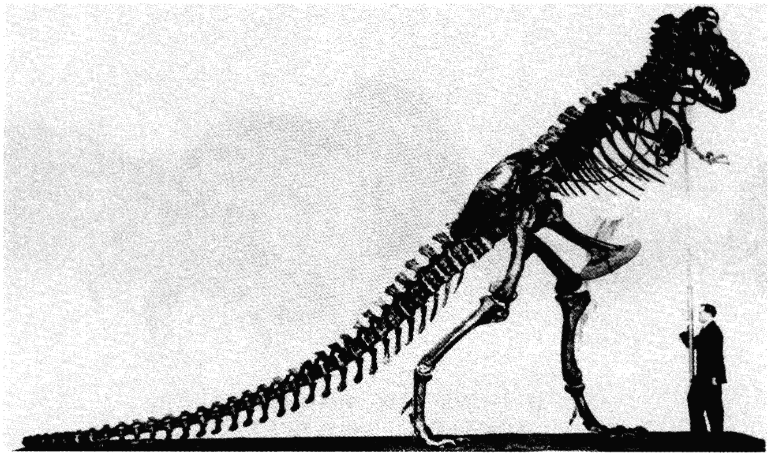


图117 恐龙化石（中生代）

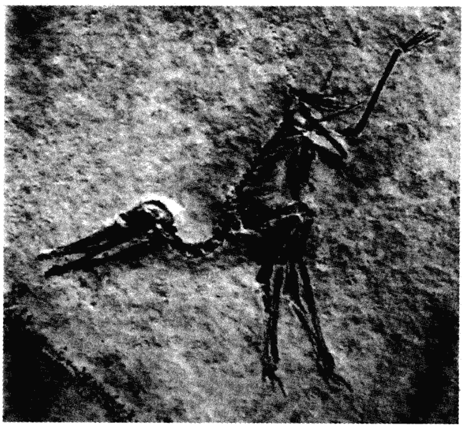


图 118 **翼手龙化石**
中生代的飞行爬行动物。

的年龄不会超过 54 亿年，其最可能的数字也许是 47 亿年。

我们之所以宁愿在这里稍微涉及专门技术，而特别向读者介绍这种计算原始年代的方法，不只是因为由此所得的结果是有趣的，也是为了要向读者介绍近代科学上的一种最完善的成就。地球的年龄这一问题，在天文学书籍中固然应该讨论到；和它相关联的生物的历史与生物的年龄的问题，因其涉及别的行星上或星球上是否有生命的问题，也应该提到。

对于生命的起源这一问题，现在还只有各种的猜测，最有名的生物学家还认为这是神秘难知的〔请参阅奥巴林著的《地球上生命的起源》等书，科学出版社，1959 年。——校者注〕。古生物学家为我们说明了原始生物的悠远年代，且说明了生命所需要的环境的恒定性。在 10 亿年前便有三叶虫和介壳类的生物，它们的遗迹（化石）可在年代确定的地层里找到，可是它们已经是经过相当演化的动物，绝不是原始的形态。在更古的地层里还发现有无脊椎动物，据生物学家说，那也不是原始的形态。

有人设想，组成生物身体的蛋白质可以在海洋表面受太阳紫外线辐射的作用而形成，那时大气中还没有像今天吸收紫外线辐射从而保护着我们的臭氧。如像紫外线那样对生物起有害作用的，反而是生命有机的合成所必需的因素。说来真是奇怪，可是化学家却已证明这样的合成是可能的。至于蛋白质合成以后，怎样就组成了生命，我们便不明白了。



图 119 **野牛、古象、驯鹿和马的壁画**
在法国多尔多涅省(Dordogne)的岩洞里。

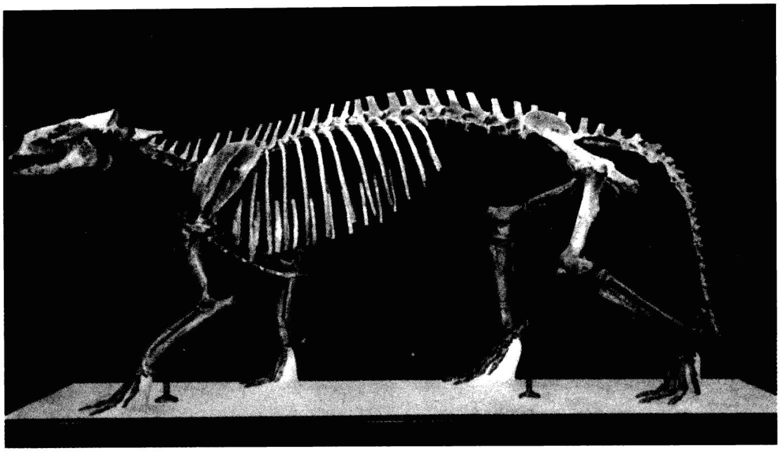
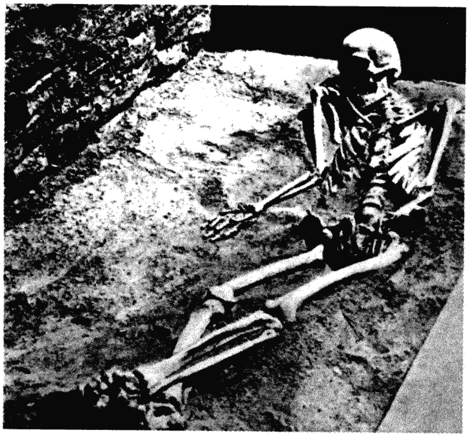


图 120　新生代里，爬行动物退化，哺乳动物发展(这种原蹄兽出现在始新世)

原始的细胞也许组成了细菌的身躯，但是在这以前也许还有大分子组成的过滤病毒。这些病毒好像才是无生物和有机物的分界。细菌之后是鞭毛虫，这是水中生长的微生物，它们的矿化骨骼常大量地出现在某些地层里，再以后是海绵、水母……动物。我们不确切知道，在什么时候，受了什么影响，生命才从海里出来。我们不过是这些生活在海中远祖的后裔，在我们机体内部流动的血浆，就其成分来说是和海水相近的。这事实是不是揭露了我们起源的秘密呢？生命是在永恒地演化着，生命绝不向后退缩。生命一旦出现在地球上，它就或快或慢地演化起来，遗留的化石使我们有可能把这个演化的过程重新加以组成。有些种属是非常恒定的，如像原始时期的一些动物，直到现在还生存着，没有什么变化。别的一些动物生存几百万年以后，便消失殆尽，没有后代遗留下来，例如第二纪的蜥蜴动物将不会再出现于地球上。地质时期，据估计太古代约有 20 亿年，大约占去地球年龄的 2/3 的时间，而造成炭矿的大森林仅在最近的两三亿年以前才繁荣在地面上。古生代的生物多半是水生的，如鱼类、两栖类、甲壳类等。中生代时期约为 1.5 亿年，那时陆海两界的生物异常繁荣。大家都听说过那个时代的巨大的爬行动物——恐龙，鸟和哺乳动物就是从那个时代才开始诞生的。

从新生代第三纪起，哺乳类才在地球上占主要的地位，那时也是造山运动的时期。这一纪比中生代还短，只经历了 0.6 亿年。在第三纪之末即距今 100 万年以前，才有类人猿——如爪哇人猿〔这是介于人猿和人之间的一属，其骨化石于 1891 年发现于爪哇。——译者注〕、尼安德特(Neanderthal)人〔这是极原始的人，其骨骼于 1856 年发现于普鲁士的尼安德特各地的一个山洞中。——译者注〕，以及今天还未觅得的更原始的种属，最后才出现了我们真正的祖先：智

人〔在我国周口店发现的中国猿人(亦称北京人)的化石是生活在大约50万年以前的人类祖先的遗迹。参阅:郭沫若等著《中国人类化石的发现与研究》,科学出版社,1955年;贾兰坡著《中国猿人(北京人)》,龙门联合书局,1950年。——校者注〕。


图121 美国科罗拉多州史前洞穴的人体骨骼

人类的历史仅占地质时期的最后几十万年,比起以前的几个地质时代来说,真是一个极短的时期,我们便是在此期间发展我们的官能、语言、制造工具和武器的技术。在这几十万年里,人类曾经历过几个冰川时期,在西欧,至少经过三个冰川时期。在法国的动物和植物已经屡次改变,驯鹿、大熊、巨象和虎、狮、象等动物已经交替出现了几次。工艺逐渐进步,起初十分缓慢,旧石器时代经历了几万年,以后才有削劈和磨光的两个新石器时期,这已经是公元前6000或公元前8000年了。我们发现那时已有铜、铁以及其他金属,后来才有文字,这些代表文化的遗迹,考古学家都已考证出来,这时已经接近有历史记载的时期了。文化也许在8000年至10000年以前才开始产生、发展。现今在所谓史前洞穴内所发现的可称赞的壁画、雕刻以及其他简单精致的艺术,不也表现了当时的文化已经相当发达,人类已经有社会组织和知识的生活了吗?我们今天引为骄傲的技术,我们4万年前的祖先诚然还不知道,但是他们也像我们一样能运用思想,在物质生活以外,也能从事于艺术、文化的活动。

以上只谈了过去。人类的将来怎样?地球的变化怎样呢?世界终结的假说,比世界起源的假说还更难猜测。我们甚至不敢说,世界是不是有终结。很久以来,有人相信生命将因寒冷而灭绝,由于日光衰减,世界普遍冰冻。太阳的热量不足以维持生命所需的温度。可是今天我们已经能够回答这个问题,太阳还远没有到衰减期,它尚富有青春的活力,它的温度还在不断增高,至少在几十亿年内不会有冰冻的现象。可是,在比较不远的过去曾经有过几个冰川时期,这是不是因为太阳暂时变冷的缘故呢?天文学家并不同意这个见解。关于冰川期的一种最好的解释是这样的:太阳在银河星系里运行,有时穿过富有星际物质的空间。当它穿过一带宇宙云时,这个保护层使太阳系内的辐射外散缓慢,因而地球的温度增高;可是当太阳一旦穿入星际物质很少的空间时,因辐射外散加快,温度降低,于是地球便进入冰川时期。如果这种假说是正确的,那么迟早还会出现新的冰冻。

但是这样的冷冻，将如同过去的情况一样，不会使生命在地球上灭绝的。



图 122 法国阿列日(Ariege)河畔的尼欧(Niaux)岩洞(圆穹上有壁画的装饰)

如果太阳的温度继续增高，那会不会把我们灼死，把地球变成沙漠了呢？生命的有机质固然有适应各种温度的能力，但是我们也知道，细胞内的蛋白质在50℃的高温下便遭毁灭。假使地球的平均温度(14℃)再增高约40℃，地球便成了不可居住的地方，生物也许会逃进地下去。但是这样的事情会不会有可能发生呢？古生物学家为我们证明，近20亿年以来，地球表面的情况事实上是相当稳定的，虽然气候不免有些变化，但不足以妨害生命的发展。这样的稳定，自然有它不变的原因，我们应该把这样的稳定性当做遥远的将来的保证。

# 第二篇 月　亮



图123　月亮表面
日中峰天文台拍摄。



图 124　月光

# 第九章

# 月亮——地球的卫星

月光可算是天文学的光辉，这一光辉照亮了人们研究这门科学的道路，使人们慢慢地将注意力转向星球和无边的宇宙。月亮柔和静寂的光辉使观赏者开始研究到别的星球世界。随着观测资料逐渐积累，人们这才创立了天文学。月亮不能算是远在天边，可是也不能算是近在眼前。

古希腊阿卡狄亚(Arcadia)地方的人，为了炫耀他们是最古老的民族，他们说在地球还没有月亮陪伴时就已经有了他们的祖先，所以他们自称是“先月族”(Prosélènes)。亚里士多德把这段神话当做历史，他说在还没有月亮的时代，居住在阿卡狄亚的野蛮人便被别的民族赶走。狄奥多尔(Théodore)更大胆地说出我们的卫星形成的年代，他说“那是在赫拉克勒斯〔Hercules，古希腊神话中具有强大的力量而且完成12件功绩的神人。——译者注〕战争以前”，罗马诗人贺拉斯也这样地谈到阿卡狄亚人。修辞学家米南德(Ménandre)取笑古希

腊人这种自以为是和天地并老的骄傲，曾在公元前 3 世纪写道："雅典人以为他们与太阳同时诞生，阿卡狄亚人以为自己诞生在有月亮以前，正如特尔斐(Delphes)人以为他们在洪水以后即来到地上一样。"其实不只阿卡狄亚人，还有别的氏族也夸耀地说他们的祖先曾经亲眼看见月亮被装上天穹。

月亮是地球的女儿，她出生的年代已有几十亿年。在世界上还没有人抬头欣赏它温柔的光辉和研究它的行径之前，它早已照耀过漫长的岁月了。

月亮是和我们最靠近的天体。可以说，它是我们的伴侣，陪伴着我们，和我们同行；可以说，它近在咫尺，算得是地球的一个近邻。它和我们的距离不过是地球直径的 30 倍，所以若把 29 个地球排列在一条直线上，一个一个地衔接在地球和月亮当中，便在这两个星球之间架起了一座桥梁。从天文学的观点来看，这段距离实在算不得什么。很多航海家、很多飞行员甚至很多步行的人所走过的路程，都比这月地间的距离还长。一线光只需 1 秒多一点的时间便越过了这段距离。这段距离，和太阳与地球之间的距离相比实在很短，前者仅仅是后者的 1/400 罢了。至于到恒星上去，那就需要月地距离的 1 亿倍……所以说，我们的卫星是我们星际旅行的第一站。

当 1783 年人们刚发明气球，第一次飞上天空时，科学家兴奋到了极点，他们已经想到要作月球的旅行和想到星际间交通的问题了。那时有一块木刻图画，上面绘着一个快要飞到月球的气球，在月轮上面绘了一座建筑在一带山岭之下的天文台，还有一群意想不到的天文学家(图 125)。

也许由于科学的进步，有一天人们会作这样的旅行，但所用的交通工具绝不是气球，而应是火箭，因为在地球和月亮之间并没有像地面上那样的大气。月亮虽然是我们的邻居，可是也不是就在隔壁，它和我们的平均距离仍有 38.4 万千米。

也许有人会问，谁能证明这个数字是正确的呢？谁敢保证天文学家不会算错了呢？谁敢说他们没有骗人呢？富有怀疑精神而且害怕受骗的人这样发问是应该的。怀疑是人类智慧的一个起点，真正的科学不怕怀疑，而是要为人类解释疑问的。让我们立刻采用证明地球运动的方法辩驳反对的论调，解释怀疑的看法，而且证明天文学书籍上的数字是完全可靠的。

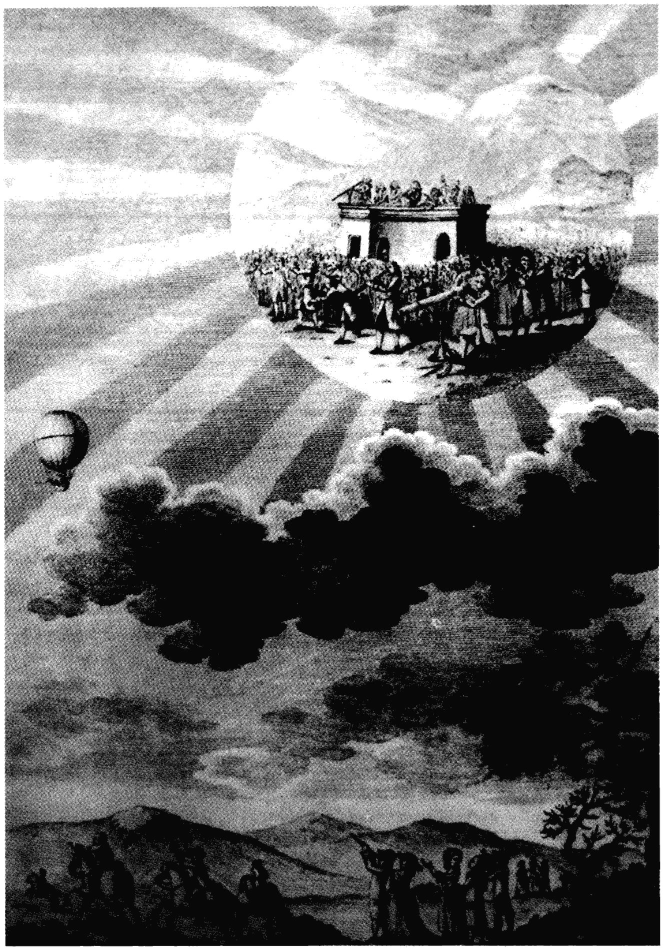


**图 125　月球世界**
18 世纪末的木刻图
勇敢飞行人，大家称是神。
奔走齐仰望，看彼上青云。
月中顿惊惶，智愚说荒唐。
何来此彗星，荡漾非寻常。

## ◀ 月亮的视大小、它的距离以及人们怎样测量天体的距离 ▶

我们知道星球的距离和大小只能凭借角度的测量和几何学的解释来求得。一个物体在我们眼里的大小（视大小）由它的真实大小和它离我们的距离远近而决定。例如像一般人所说的，月亮大得“像一只盘子”，这并没有说明月亮究竟多大。我们时常听见一个人描绘他所看见的流星，说那流星有 1 米长、10 厘米宽。这样的说明简直不能解决问题。

如果我们不预先知道一个物体的距离（对于星球一般就是这样），只有一个办法表示它的视大小，那便是测量它对我们的眼睛所张开的角度。如果以后能量出它的距离，把这

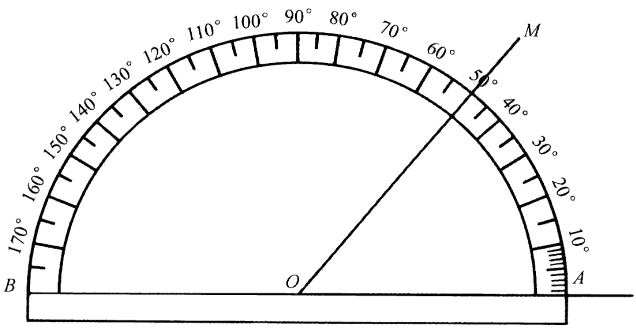
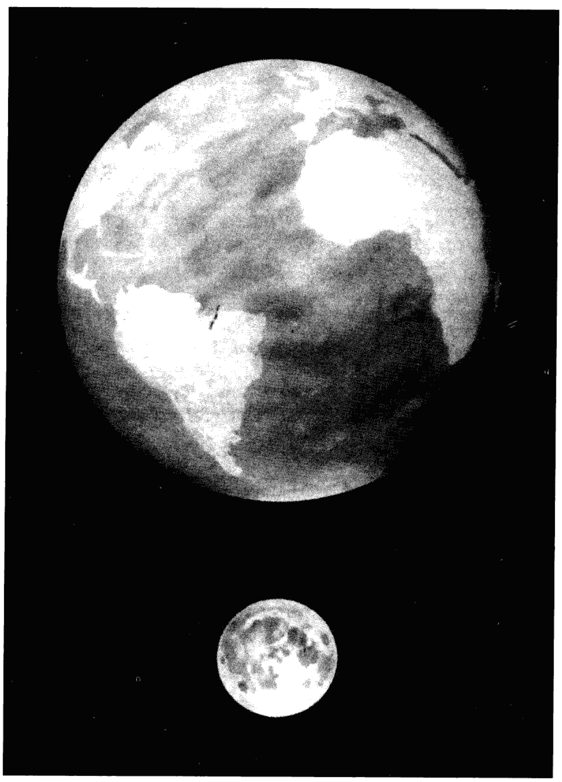


图 126 角的测量用弧度表示

距离和视大小组合起来，我们便能求得它的真正大小。

所以一切距离和大小的测量是和角度的测量分不开的。在一定的距离上，真大小和所测量的角度是对应的（成正比的）；在一定的角度里，真大小和距离也是对应的。由此可知，角度的测量是天体几何学的第一步。俗语说得好："万事开头难。"大家都知道角是什么（图126），大家也知道角的量度以圆周的分数表示。绕着中心旋转的一条射线 $OM$ 可以和沿着半圆周 $AMB$ 以内的射线 $OA$ 做成任何的一个角，甚至超过半圆，继续地旋转。我们把全圆周分为 360 等分，把每一等分叫做 1°。所以半圆周代表 180°；1/4 周，或者一个直角，代表 90°；半个直角是 45°，等等。在半圆周 $AMB$ 上我们画上 5°的分划，在第一个 10°内，又一度一度地划分开来。


图 127 地球和月球大小的比较

所以 1°是全圆周的 1/360，这是一种和距离无关的测量。因为我们时常测量比 1°更小的角，所以我们把 1°的角再分为 60 个相等的部分叫分；1′再分为 60 个相等的部分叫秒。这样的名称和时间的单位分和秒有些混淆，为了区分，可把它们叫做角分和角秒。

度的记法是在数字的右上角加一个小圆圈（°），分加一撇（′），秒加上两撇（″）。例如 1950 年的黄赤交角是 23 度 26 分 45 秒，便可写成 23°26′45″。

叙拉古(Syracuse)的暴君有一天向阿基米德学习天文,并叫这位学者向他少谈一些数学的原理。阿基米德严肃地说:"即使对于君王,研究学问的道路也是没有捷径的。"

确实,研究天文学对于任何人来说都是没有捷径的,在开始学习的时候,知道一些有关几何测量的原理是必要的。刚才我们叙述了角是什么,据此,月轮的角直径平均是 31′4″(31 分 4 秒),即比半度稍大一点。若把 347 个满月排成一串,那么这些月亮得从地平线的一端达到对径的另一端,在天上占满了半个圆圈〔我们知道,周长 360 厘米的圆桌,桌边 1 厘米就相当于 1°。因此,月亮的视大小比一个直径为 0.5 厘米的圆放在 57 厘米以外看上去仅仅略微大一些(因为周长 360 厘米的圆周直径是 114 厘米)。人们常把月亮比做一个圆盘,所以人们对于月亮的大小总是有些夸大的感觉。事实上,普通大小的圆盘应该放在 25 米以外.看上去才和月亮一样大。我们在这里顺便提一下:当月亮升起或落下时,它显得特别大,比它在天空中更大。这是眼睛的一种奇怪的幻觉,因为我们如果用望远镜观测地平线上的月轮,使镜内的动丝和月亮的边沿相切,实测的结果证明月亮并没有变大。事实上,月亮在天顶上却要大些,因为它在那里和我们更近一些。这种幻觉的原因是什么呢? 这并不是像一般人想的那样,认为是由于大气中水汽作用的结果,因为这种看法已被实测所否定了。这种表观增大现象的原因有二:第一,因天穹看来显然有些扁平,因此,天界看来就好像比天顶远一些,当两个物体在眼睛里所张的角度一样时,我们的感觉会感到,远的那个要大些。同样的道理,试将天顶到地平线的距离分为两个相等的部分,你会常常瞄准得太低,认为这部分是 30°。大熊和猎户两星座在地平线上看来很大,也是这样的道理。第二,由于树木、房屋等物夹在月亮和我们当中,使月亮显得很远,于是我们便想象月亮比这些东西更大;同时,由于月亮在发光,而树木和房屋都不发光,所以月亮便显得更为突出〕。

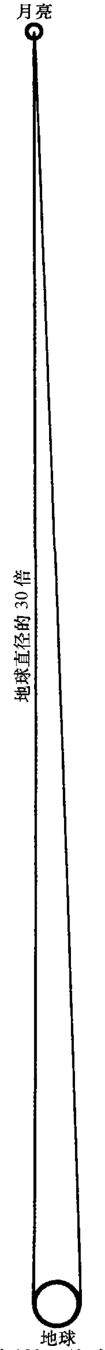


图 128　地球月亮间的距离和两球的大小

如果现在我们想立刻明白真大小和视大小之间的关系,只需注意同一物体放得愈远就显得愈小,而且把它放在它的直径的 57 倍远的时候,不管这一物体的真大小究竟是怎样的,它在我们眼里所张的角度恰是 1°。例如直径 1 米的圆轮,放在 57 米以外它在我们眼里所张的角度恰好是 1°。

月亮在我们眼里所张的角度比半度稍多一些,我们根据这一事实,便可以知道月亮离开我们是比它的直径的 2×57 倍略短一些(实际是 111 倍)。

但是,如果我们不能直接测量出这个距离的话,这个概念还不能使我们知道月亮的真距离和它的真大小。

在 2 000 年前我们已经知道月亮的距离,而且知道的是一个很近似的数

值，但是直到 18 世纪（1751），这一距离才被两位法国天文学家拉朗德（Lalande）和拉卡伊（Lacaille）确切地测定出来。他们站在地球上很远的两点，一个在柏林，一个在好望角。现在请看图 128。图中的月亮在上，地球在下。月亮愈远时，以月亮为顶点的角就愈小，测定了这个角便可以求得从月亮上看到的地球的视直径，这是两倍于一般所谓的月亮视差。

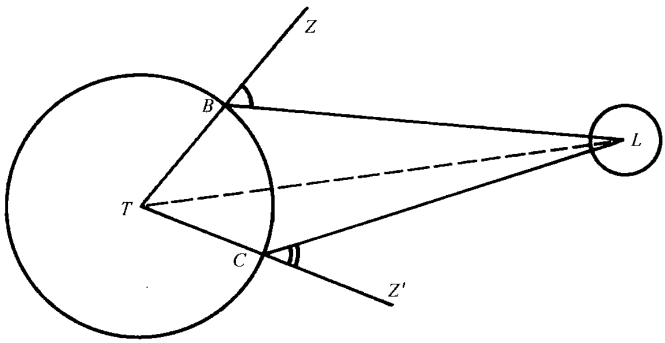



图 129　从相隔相当远的两站 B 与 C 测量到月亮的距离

所谓月亮的视差，就是从月亮看地球半径所张的角。我们现在来详细研究一下这两位天文学家所用的测量方法。不习惯于用初等几何学原理的读者，可以略去这一节。这两位天文学家在差不多相同的经圈上，使用象限仪测量了月亮的方向和他们的铅垂线方向之间的角度，而他们的观测是在月亮中天的时候进行的。当拉朗德这一面测得角 $ZBL$ 的时候（图 129），他的同事测得角 $Z'CL$。假使月亮到地球的距离 $TL$ 比起地球的大小来说是无限大，则 $TL$、$BL$ 和 $CL$ 都将是平行的，因为这些直线是不会在有限的距离处相交的。在这样的情形下，角 $ZBL$ 和角 $ZTL$ 便会相等，角 $Z'CL$ 和角 $Z'TL$ 也会相等。那么这些角两两相加，它们的和也是相等的。换句话说，这两位天文学家在月亮经过他们的子午圈时所测得的角 $ZBL$ 和角 $Z'CL$ 的总和，会等于这两处的铅垂线所成的角 $BTC$。但是事实上月亮离开地球并不是无穷远，因此他们所测得的两角之和显然大于两铅垂线间之角（这个角是已知的，因为它大约等于柏林和好望角两地的纬度之和），这样超过的数量恰好是角 $BLC$，这个数量的准确性恰和月亮上的观测者量出的柏林和好望角两地所夹的角一样。这样求得角 $BLC$ 以后，我们就不难推出从月亮看地球半径的角度，或者说月亮的视差了。这个视差是 57′3″。月亮上的观测者看地球在它的天上是一个直径大约 2°的圆轮。下表中我们列出了角度和距离间的关系，这里所取的作为距离的单位是我们所测量物体的视直径的真实大小：

| | |
|---|---|
| 1°的角度所相当的距离是 | 57 |
| 30′所相当的距离是 | 114 |
| 6′所相当的距离是 | 573 |
| 1′的角所相当的距离是 | 3 483 |
| 30″的角所相当的距离是 | 6 875 |

| | |
|---|---|
| 20″的角所相当的距离是 | 10 313 |
| 10″的角所相当的距离是 | 20 626 |
| 1″的角所相当的距离是 | 206 265 |

假想一个人身高 1.70 米，在离他身体 57 倍，即 97 米处去看他，那样的高度就代表 1°；每边 10 厘米的方纸，在 5.70 米以外看去，也盖着了 1 平方度；每边 1 厘米的方纸块在 34 米以外看，代表 1 平方分；绘在墨板上宽 1 毫米的直线，在 206 米以外看，代表 1″；一根头发约有 0.1 毫米粗，放在 20 米外去看，也代表 1″。这样小的角度实在非常微小，不是肉眼所能觉察的。

对于角的大小，有了以上的了解，才可以使我们明白以后怎样估计一切天体的距离。月亮的视差，平均值既然是 57′(差不多是 1°)，所以它的平均距离大约是地球半径的 60(60.27)倍。以整数表示，便是地球直径的 30 倍。

地球的与视差相关的赤道半径是 6 378 388 米，所以月地间的平均距离是 38.44 万千米。这个事实是和我们的存在一样真实。

我们在图 128 上，按正确的比例尺表示了这个距离和月地两球的大小。在这张图上，地球的直径是 6 毫米，圆圈代表通过柏林和好望角两处的经度圈，月亮的直径是地球的直径的 3/11，即 1.6 毫米，放在离地 180 毫米即地球的直径的 30 倍远的地方。现在试举一些例子来想象一下这个距离究竟有多远。



图 130　月轮表面和欧洲大陆的比较

一颗初速度为每秒 500 米的炮弹，到达月亮需要 9 天。声音传播的速度(在空气中 0℃下)是每秒

332 米。假使月地之间充满了空气，月亮上火山爆发的声音，如果有足够的强度可以使地球上的人听见的话，那么我们将在爆发后 13.5 天才能听到这个声响。传播得最迅速的光，只需 1.25 秒钟，就能到达地球。

既知月亮的距离，我们便可从它的视体积来算出真体积。因从月球上看地球的赤道半径是 57′3″，而从地上看月亮的赤道半径是 15′32″，这两个球的真正直径之比，应当是这两个数字之比。稍加计算，便得到月亮和地球的直径之比是 272∶1 000 或者大约是 3∶11，由此可知月亮的直径比地球的直径的 1/4 还要稍大一些。因地球的直径是 12 757 千米，所以月亮的直径是 3 473 千米，由此就容易算出月亮的表面积是 3 800 万平方千米，体积是 220 亿立方千米。这颗近邻星球的表面积大约是欧洲大陆的 4 倍，或者是南北两美洲相加那样大。月亮的体积只相当于地球体积的 1/49。所以，要有 49 个月亮，才能组成和地球一样大的球。可是，要造成和太阳那样大的球，却需要 6 400 万个月亮！

对一个星球的距离和它的体积的测定，看来是很奇妙的，可是事实上却是非常简单而且可靠的。我们希望读者至此已经明了这种测量天体的既合理又精确的几何方法。让我们再说一次，月地的平均距离是 38.44 万千米。

在这个距离上，月亮围绕地球运行的周期是 27 日 7 时 43 分 11 秒，平均速度是每秒 1 017 米。

## ◀ 月亮怎样围绕地球运行 ▶

根据历史记载，关于月亮运动的研究使我们发现天体运动的基本原则和宇宙的稳定性。牛顿就因研究我们的卫星，而发现了万有引力定律。

这是距今天差不多 300 年以前的事了。有一天夜晚，一位 23 岁的青年，在他祖先的果园里坐着沉思。在夜的静寂里，据说，有一个苹果落在他的面前。这个简单的事实，别人不会在意，就让它过去算了，可是它却吸引住了这位年轻人的注意。那时，一轮明月挂在天空。他开始思考把万物向地吸引的这种奇异的力量究竟是怎样来的。他天真地问道："为什么月亮不落下来呢？"他经过详细思考之后，终于发现了一个伟大的定律。这一发现，是人类可引以为骄傲的。这个青年人便是牛顿！这个因苹果坠地所引出的伟大的发现，便是万有引力定律，这一定律成了一切精确的天文学理论的基本原则。

现在我们把证明地心引力和使星球运行的力量是同样一种力量的理解经过，叙述在下面。

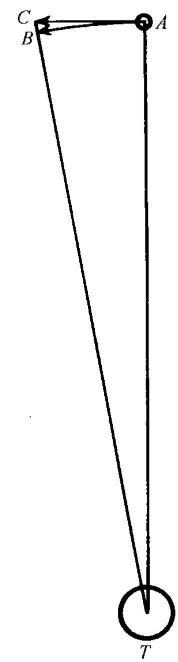



图 131　**月亮是怎样地向地球坠落而不碰撞**

如果地球不吸引月亮，月亮就会沿直线 $AC$ 的方向运行，地球的引力使月亮向地球坠落 $CB$ 那段距离，使 $TB$ 等于 $TA$。

使物体坠落到地上的地心引力，不但是表现在接近地面的地方，在屋顶和最高的山巅也存在着，而且它的强度好像并没有减弱。当然，我们会想到，在更远的地方，如像在离开地球等于地球半径 60 倍的月亮那里，这种吸引物体向地的引力也还是存在的。那么，维持月亮在它的轨道上围绕地球运行的力量，是不是这种地心引力呢？牛顿首先向他自己提出了这个问题。

伽利略曾经研究过物体落地的运动，他说明地心引力对于物体，在相同的时期里应当产生相同的效果，而不管它们的状态是静止的还是运动的。一个不具初速度而垂直落下的物体，不管开始下落后经过了若干时刻，它的速度在每秒钟内常增加相等的数量。在一个物体向任何方向抛出的运动里，水平方向的速度是恒常不变的（如果不计入空气的阻力），可是垂直方向速度的变化，和物体垂直坠落的情形是一样的。举例说明如下：

沿水平的方向抛出一个铁球，假使没有地球的吸引力，它将以同样的速度，沿同样的方向无限制地向前运动，可是由于地心引力，它渐渐离开它被抛出的那个方向而下落。它离开这条直线继续下落的速度，和这个物体没有初速度自然垂直下落所具有的速度相同。将这条代表抛出铁球方向的直线延长到被这个铁球击中的垂直的墙上，然后测量墙上击中点离开这条线的距离，所测得的正是在发出至击中那段时间里，铁球不受初速度影响而垂直下落所应该落下的距离。

这个很简单的概念可直接应用到月亮的情形上。在每一瞬间，月亮绕地球的运动，我们可以把它当做是朝水平方向抛出的铁球。在某一瞬间我们假想月亮沿直线 $AC$（图 131）方向被抛射出去，它不是无限地沿该方向运动，而是在它的轨道上走了一段弧线，不知不觉地接近了地球。它在每一瞬时，都向我们坠落，它这种坠落的分量是容易求得的，因为正如铁球的情形一样，只需将月亮在这段时间内所走的弧长和假使它的运动不受别的影响在 $A$ 点的切线方向上所走的距离加以比较，便可求得。那么我们怎样计算月亮在每一秒钟内向地球坠落的距离呢？地球既然是一个球，它的大圆（经圈或赤道）的周长是 4 万千米（即 4 000 万米），月亮的轨道也可以当做一个圆周，它的半径是地球的半径的 60 倍，因此月亮的轨道的周长是 4 000 万米的 60 倍，即 24 亿米。

月亮在这样长的轨道上运行一周，需要 27 日 7 时 43 分 11 秒，或者说 2 360 591 秒。

以24亿除以2 360 591，我们便知道月亮在每一秒钟行1 017米，即1千米多一些。

现在再求月亮每一秒钟内向地球坠落的距离。假设在某一瞬间月亮在$A$点，地球在$T$处(图131)。假想月亮向左方沿水平方向被抛出去，如果地球不起作用，月亮便沿着$AC$方向前进，可是事实上，它不在这条切线上运动，而是走了$AB$那一段弧线。假设这一段弧长为1 017米，那便是月亮在一秒钟内所走的距离。如果我们测量$C$点离开$B$点的距离，我们便求得月亮在一秒钟内向地球坠落的距离，因为前面已经说过，假使没有地球的作用，月亮是会走$AC$那条直线的。这段$CB$线的距离是1.35毫米。

现在假想把一个石块放到月亮那样高的地方，让它落下来，在第一秒钟，它向地球坠落的距离正是1.35毫米。地心引力离地心愈远就愈减少，并且是随距离的平方而减少。在地面上的一个石块，在落向地心的第一秒里走了4.90米。月亮距地心是地面距地心的60倍。所以，在月亮上，地心引力减少了$60^2$，或者是3 600倍。所以要知道一个石块在月亮上第一秒里所落的距离，只需将4.90除以3 600，结果确是1.35毫米，正是一秒钟里月亮离开$AC$直线的距离。

既然有这样的坠落，为什么月亮不会早就和地球碰撞了呢？这是因为月亮有它沿$AC$方向的速度，使得由它这种运动所产生的离心力恰好抵消了地球的吸引力。假使没有这种吸引力，月亮由$A$至$C$便离开了地球，但是吸引力使它走$AB$弧，结果使得$TB$等于$TA$。

我们试在头顶沿水平方向迅速地旋转一个用绳系着的石块。因为我们手上所持的绳索把石块系住，所以石块所画的曲线是圆周。石块受到向圆周外的一种力，它在我们手上是感觉到的，这便是由于这种运动所产生的离心力。石块自转的速度愈大，这种离心力也愈大。但是我们所持绳上的张力抵消了这种离心力。如果我们骤然丢掉绳子，石块便沿它已有速度的方向，即向它所运转的圆周的切线方向飞去。假使地球的吸引力没有了，月亮也会这样飞出去的。

牛顿凭他的天才，已经领悟到使物体坠落到地面的地心引力和使月亮在它的轨道上运行的力量，实在是同一种力量，可是他所处时代的观测和理论，都没有精确到足够给予这个发现以无可辩驳的证明。下面的故事，无疑是有些戏剧化，但是它太美了，不能不在这里叙述一下。牛顿停留了16年无法严格证明他的理论。直到1682年，他听说法国天文学家皮卡德(Picard)测量地球的新结果，他赶忙回家，重新计算他放下了16年的问题。当他把新的数据代进算式，计算愈进展，他所要求得的结果愈是明显。这时，这位思想家非常激动，简直不能继续计算下去，只好请他的朋友帮他完成这个计算。如果真的像人们

所说的，这个故事是一位传记家渲染的笔墨，也不要把它抛弃，因为意大利的谚语说得好，“纵然不是真实的，却也算是美妙的”呀！

牛顿利用他所发明的微分学的方法证明，如果太阳有这样一种力的作用，每个行星会走一个椭圆轨道，太阳就在这些椭圆的一个焦点上。这正是开普勒根据长时期的观测，由经验得出的行星运动的一个定律。月亮环绕地球的运动也应该遵循这一定律。牛顿因此敢说，卫星受着它们所依附的行星的吸引，而地球上物体所受的重力，不过是使行星绕太阳以及卫星绕行星作公转运动的万有引力的一个特殊例子而已。

把这个概念一般化以后，我们可以说，空间的星球互相吸引，是按照这个引力定律，或者说是按照万有引力定律。天文学的进步证明了这种引力的万有性。这个定律可用言语表达如下，读者们应该记住：

万物互相吸引，引力的大小和它们的质量成正比，和它们之间距离的平方成反比。

以后在行星绕太阳运动那一章里，我们还要讨论到这个定律。

我们已经说过，月亮围绕地球运行，周期是 27 日 7 时 43 分 11 秒，速度是每秒 1 千米多，每分钟约 60 千米。这样就产生了一种离心力，使它在每一瞬间有离开的趋势，这一离心力，恰好和地球对它的吸引力使它接近的趋势相抵消，结果，它在空间里和地球总保持着一定的距离。

在月亮围绕地球运行的同时，地球也在围绕太阳而运行。在 27 日里，地球约运行了它一周的 1/13。地球带着月亮的公转运动，使得月相的周期比月亮的公转周期要长一些。

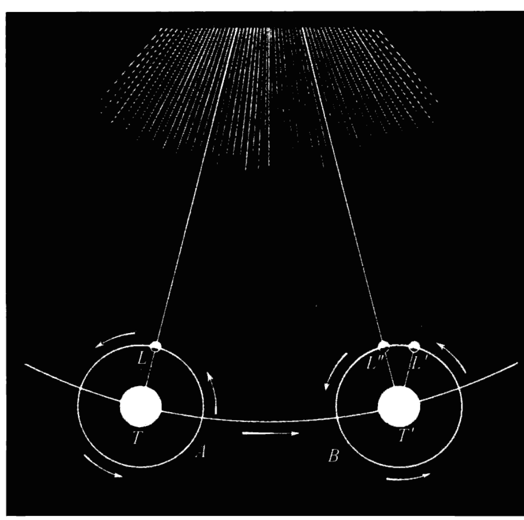



**图 132　月亮的会合周期比恒星周期要长一些**

当月亮从位置 $L$（左图）出发，完成一个会合周的时候回到了 $L''$（右图），它走了整整一个圆周还加上弧线 $L'L''$。

月亮和地球一样，是不发光的天体，因为被太阳照着，反射日光才被人们看见。日光只照着月球的半个球面。月相是随月亮和太阳与地球的相对位置而变化的。月亮在地球和太阳之间时，它被太阳照着的半球对着太阳而背着地球，所以我们看不见它，这便是新月；当月亮和太阳正交，我们看见照着月球的一半，这便

是上弦或下弦；当地球在月亮与太阳之间时，月亮把它被照亮的半球整个对着我们，这便是满月。月相的周期为什么和月亮的公转周期不同，初学者有时难于理解。为了说明这件事，先设想在新月时，我们可以假定地、月、日三体排列在一条直线上，如图132A所表示的情况。那时，月球在地球和太阳之间，所以是新月。当月亮按箭头所表示的方向绕着地球运行时，地球和月亮所组成的整个体系由左向右运行，这时月亮公转了一周，来到$L'$的位置，还不能达到下一次的新月（$T'L'$是和$TL$平行的）。事实上，月亮须到了$L''$的位置才是新月，所以它还须走上附加的$L'L''$那一段，就是说在它的运行周期上还须加上2日5时0分52秒。因此，由新月再到新月的朔望周期是29日12时44分3秒，这叫做月亮的会合周期。至于它的真正周期，叫做恒星周期。这两种周期的差异恰和我们所说过的地球的自转周期和太阳日的长短两者之间的差异一样。

月亮由西至东的自行和月相的循环，可以说是人类观察天象最先明了的现象，也可以说是时间的测量和历法的最早的基础。



图 133　朱维西的弗拉马里翁天文台(特别注重观测月亮)

# 第十章

# 月　　相

我们的祖先比我们和自然更为接近。他们既不需矫揉造作,也不受近现代生活的束缚。他们对于自然现象的直接观察,奠定了科学的最初基础。如果说,天文学是最早的科学,那么,对月亮的观测便是最早的天文观测,因为这种观测最简单、最容易而且最有用。明月的光辉,现今城市居民已不太重视,可是原始人却把它当做一种特殊的恩惠,所以他们把月亮当做女神来供奉。月相的循环给牧羊人和旅行人以计时的标准,仅次于因地球

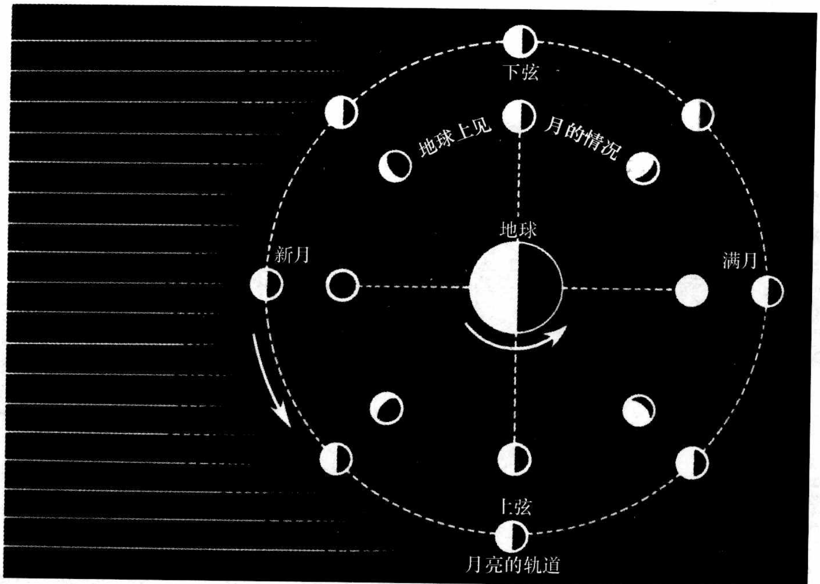



图 134　月亮的位相决定于会合周期(29.5 日)，因为位相随月亮对于太阳的相对位置而变化

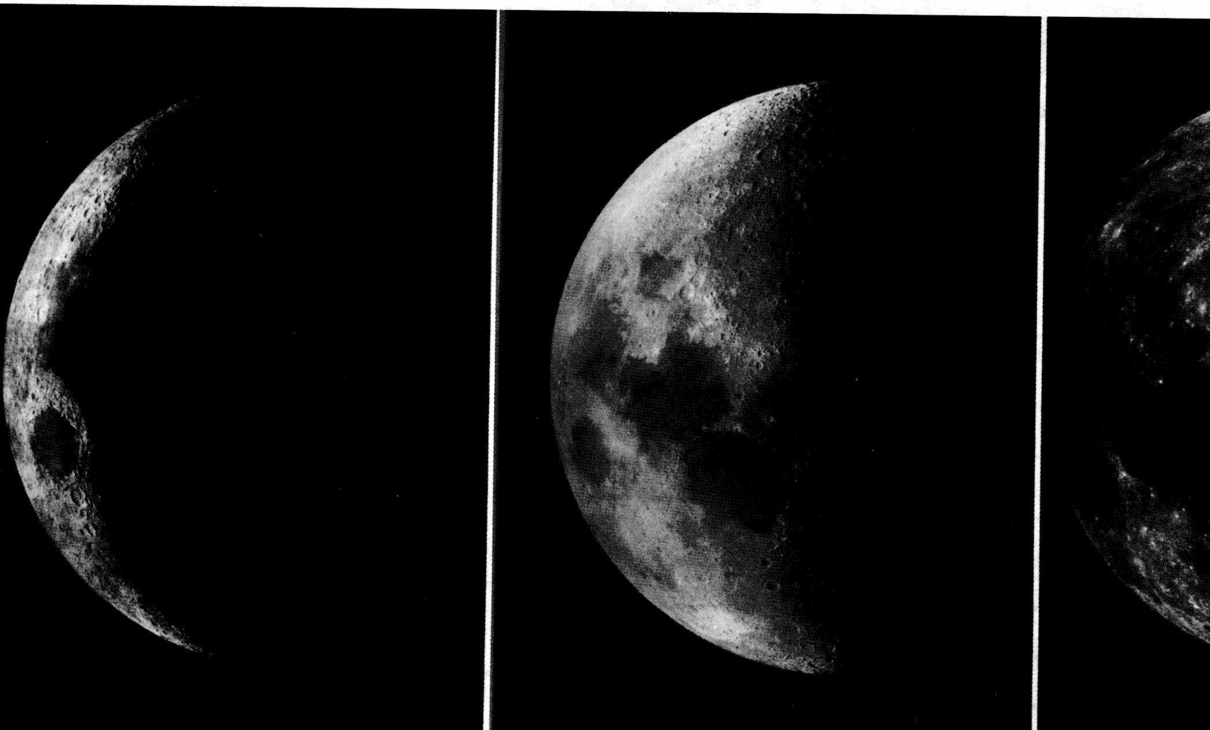


图 135　月的各个位相

自转而来的昼夜循环的周期。月相比四季循环更为简单明显，所以曾经被人当做一种天然的历法。

我们说过，在大约一个月的时间内，我们的卫星沿着与周日运动相反的方向，在天上行经一周；同时它和别的星球一样东升西落，每夜它都比别的恒星升起得迟一些，好像向东方后退一样。这种运动非常显著，只需连续几夜注意月亮的位置，便会觉察出来。例如某夜月亮在一颗明星附近，它很快离开这颗星，沿着与周日运动相反的方向而去，绕天空运行一周：在一夜之间它离开了 13°，两夜 26°，三夜 39°……最后过了 27 天，它从相反方向回来，再碰到那颗明星。它回到它前一个月所在的那一点，好像依次拜会了它旅途上的每颗恒星。

人类先注意到月相，然后才察觉到它在恒星间的运动。月亮在某一夜从太阳的光辉里诞生，那便是初生的新月（又叫做朔）。和太阳相合的第二夜，月亮呈现一丝娥眉的光辉，它的凸面常向着落日的一面（许多画家没有注意到这个事实，常常把这个现象的方向画反了！）。娥眉月逐渐长大起来，五六天以后它成了半圆的形状，明暗部分的界限似乎成



了一条直线,那时叫做上弦,在白天也容易看见。它继续离开太阳,成了卵形,又经过七天,光辉不断增加,以至满轮发光,通宵照耀,便到了满月(又叫做望)。那时它半夜中天,太阳东升,月亮西落。对于我们说来,这种现象说明月亮和太阳处在相反的方向,而且说明太阳是迎面的而不是侧面的照着月亮,我们才看见它的整个明亮的圆轮。

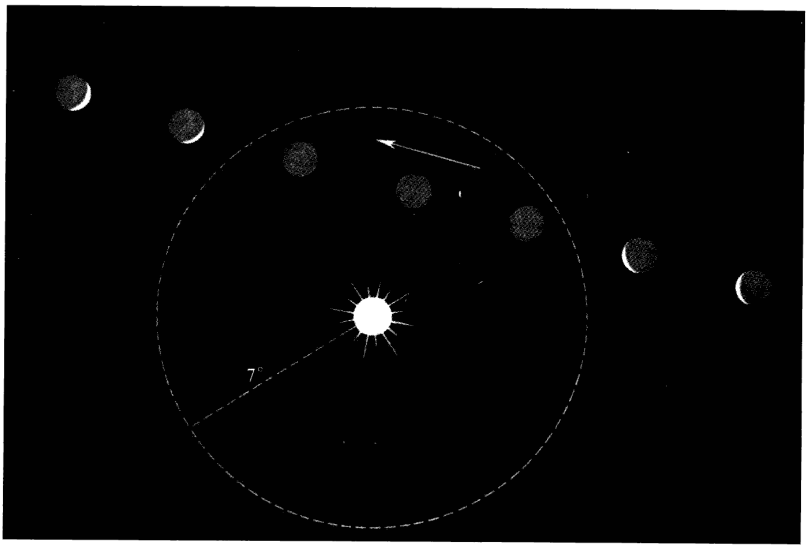



图 136　在每次合的时候,月亮不一定造成日食

平均五次中有四次月亮从太阳的上面或下面走过,当月日间角距离小于 7°时,便不会有娥眉月,因为月亮只被灰光很微弱地照着,所以它对着我们的一面完全看不见。

继满月而来的,便是月缺的时期,重新表现月盈期的月相,先由卵形逐渐亏损,而到半圆(下弦)。这半圆继续亏缺,成娥眉的形状,更逐日变窄,而且它的弦角是背着太阳的。那时月亮在早上日出前一些升起,它更接近太阳,随着就失落在日光里;那时月亮又变成了另一个新月,又来到朔的时期。

我们已经说过,月亮在我们眼里所表现的这一系列现象,是在 29 日 13 时它的一个会合周期里发生的。新月和满月的日子叫做朔望,月亮成为两个半圆时叫做上弦或下弦。

在前一篇里,我们说过,太阳中天比恒星中天每日要迟 4 分钟。因月亮经天一周(恒星周期)比太阳经天一周要快 13 倍,所以月亮每日中天更要落后。在继续两天里,月亮中天比太阳中天迟 50 分钟。所以用月亮来计算日子,每日应是 24 时 50 分。不过这数字只是一个平均值,月亮的异常复杂的运动,使得这种"月亮日"有很大的变化。

月亮成为新月或太阴月开始的时候,显然不能用直接观测立刻决定,除非是恰好在朔的时候,掩盖着日面而造成了日食。

可是日食不是每月都有的，因为月亮虽然在黄道星座中运行，可是它离开黄道还有一些距离。下一章谈到月亮的复杂运动时，我们还要提到这件事。如果月亮像太阳总是在黄道上运行，那么每逢新月便形成日食，每逢满月便形成月食。可是我们只需检查年历，便可知道，在5个朔望里，有4个都没有食，月亮的位置总是太偏北或太偏南，不能造成食的现象。

图136表示朔日前后月轮的连续几个情况。假设在新月的时候，月轮在日轮的北面（从我们的纬度看去，月轮在上）。它的一丝娥眉总把凸面向着太阳，但是到了合朔的时候，这一丝娥眉的光辉也完全消逝，即使那时并无日食。事实上，月亮表面的凹凸起伏很大，环形山的棱脊和高山的峰巅侧影互相重叠，使得月面向太阳的一些部分不能被人看见。这现象在弦角上尤其显著，因为在月轮周围，娥眉月占去的部分不及一半，弦角好像被剪裁过了。当月亮距离太阳20°时，因月面凹凸起伏的效果，娥眉的弧度减少了12°，可见的弧只有168°；距离太阳15°时，可见的弧只有142°；在离太阳9°处，娥眉的开口不过88°，还不到一个直角；在离太阳7°处，它就完全消逝，月亮的被日光直接照着的部分在地上就丝毫也不能够被看见了。

总之，由于月面上的起伏，在新月前后，娥眉月的视表面和亮度显著地减少，这也是在合朔前后或长或短的一些时间里，完全不见娥眉月的原因。在中午，即使在最好的天气，用肉眼或望远镜去看娥眉月，须在它离太阳至少24°那么远，在小于30°处看见娥眉月，实在是相当困难的。但是在太阳升起或落下的时候，就适宜得多。如果前面是海阔天空的地方，又逢晴朗的气候，即使月亮距离太阳只有15°，因太阳在地平线下面，亦易辨出一丝娥眉的光辉。这种现象转瞬就看不见了，因为太阳在地平线下须有相当距离，才不致使晨昏的天光掩蔽了娥眉的微光，而且在地平线附近常有或多或少的雾气，也常会掩蔽了这稀微的光辉。这种现象只能有几分钟，观测者必须事先做好准备。有人在月亮距太阳10°处看见过它，更有两处，根据计算，除掉视差在角度只有7°到8°之间，也看见了新月。新月初生作为太阴月的开始，在不可查考的古代，就有一些民族用宗教仪式来庆祝，一直到今天还是这样。对于信仰伊斯兰教的人来说，这种现象是代表斋戒节（9月斋期）的始末。娥眉月怎样才能被人看见，曾经成为许多人研究的题目。可惜的是，观测的人只说，在合朔以后，经过了若干时日，他才看见了新月，换句话说，即是在什么月龄看见月亮。可是新月被人看见，不但是由于月龄，而且是因月和日中间的角度（自然还有气象的情形和观测者在地球上的位置）。我们再看图136，便会明白，单是月

龄不能决定它和太阳的距离，因为当月龄为零，即正当合朔的时候，日月间的角距离可以由 0°到 6°。还有，如像我们在下面要谈到的，月亮在它的轨道上运动，情况异常复杂，它的视速度有很大的变化。1952 年 8 月 21 日，月龄才 12 时，月离太阳只有 5°，因无娥眉，故地上没有一个地方可以看到月。可是 1953 年 4 月 4 日，月龄仍是 12 时的时候，月离太阳 9°，一个位置适当的观测者可以很清楚地看见一丝娥眉月，这两个例子足以说明，只是月龄不足以表示它能被看见的情况。只有掌握月亮和太阳位置的确切数据的天文学家才能指出观测是否可能，如有可能，应该在哪里去寻找娥眉月。

我们还需对这个引人注意的问题说一句话。太阳和月亮都在天上所谓黄道星座之内。可是太阳刚落下，我们要去找新月的时候，黄道和地平线所成的角却随四季而有变化。以巴黎来说，春季时这个角度是 64°，秋季时不过 18°。只需看一下图 137，便会明白为什么在春季容易看到新月，因为那时它离开地平线要高一些。反之，在秋季的时候，人们应当早起，在黎明的曙光前，去看即将消逝的一丝残月。

这张图也使我们明白，娥眉月的弦角线（即连接角尖两点在月轮上的弦线），对于垂直线来说，可以有各种方向。在我们的纬度上，弦角线绝不会在水平方向，而在低纬度处，情况便不是这样，新月甚至可以把它的凸面对着东方。

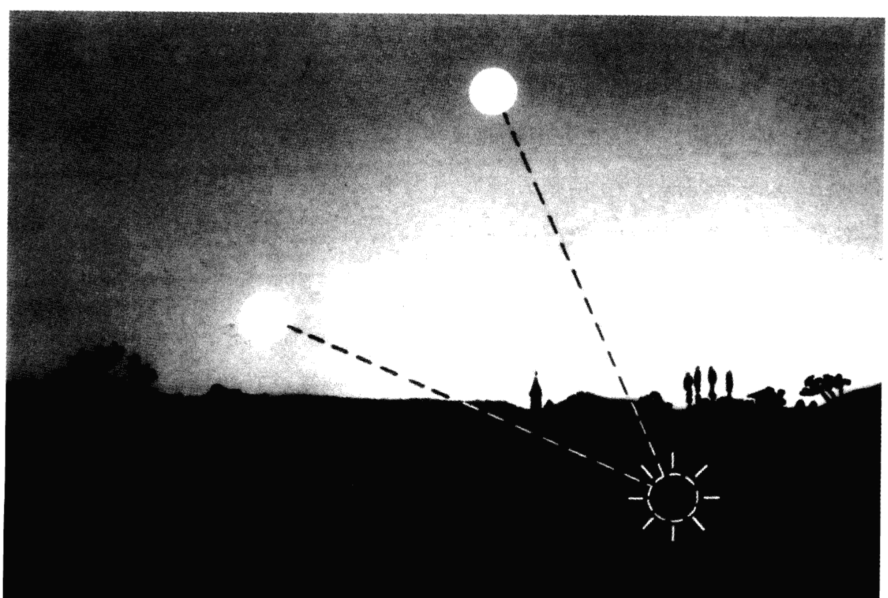


图 137　在我们的纬度上，西方天上新月在春季（右上方）比在秋季（左下方）容易看见

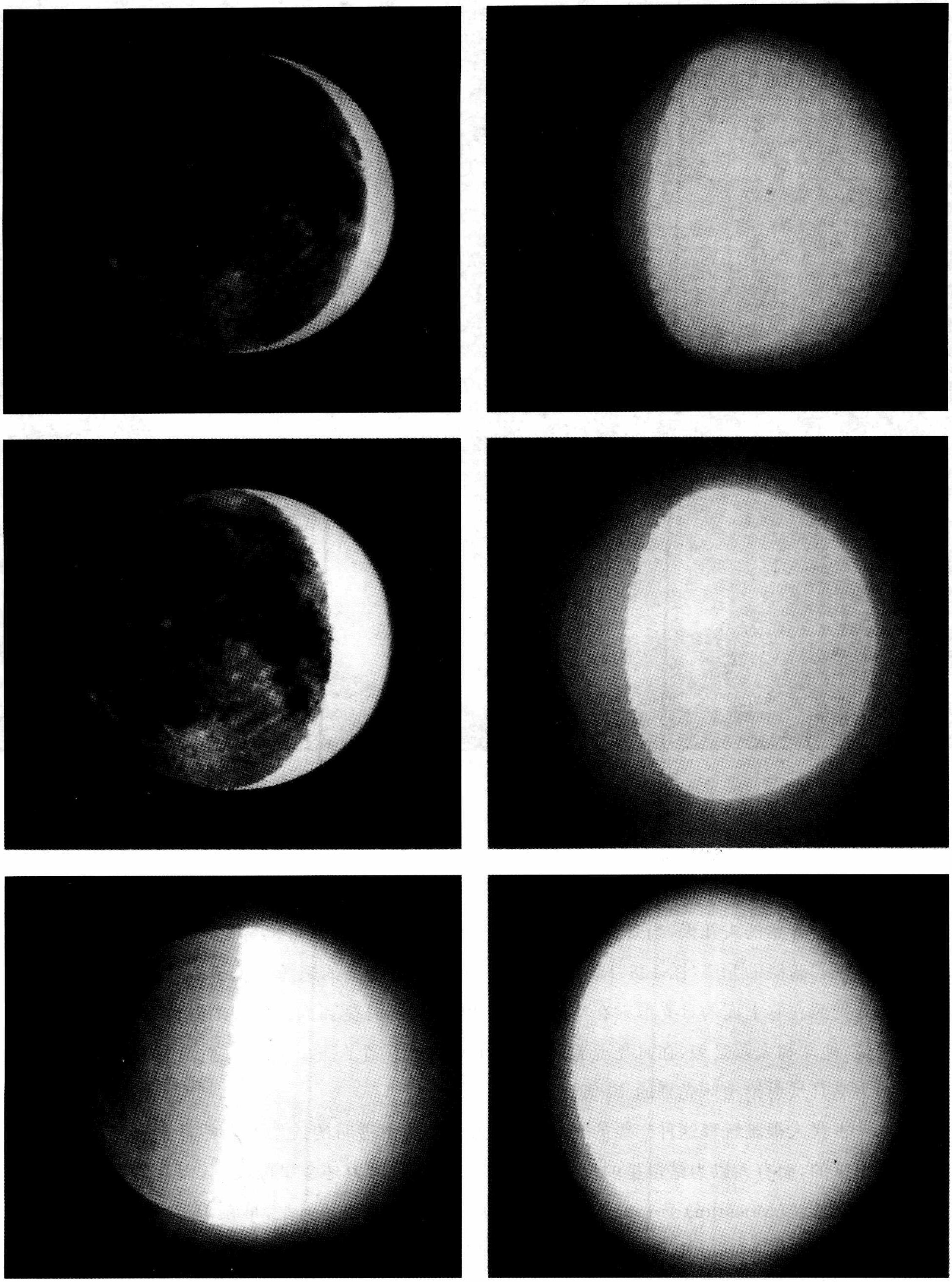


**图 138　在月龄各阶段所拍摄的灰光**

露光时间对于两个娥眉月是 6 分与 10 分，其他四张照片是 15 分，因此使月相周围生晕。



图 139　蛾眉月与灰光(1935 年 2 月 5 日拍摄)

## ◀灰　光▶

月龄开始的头几天,当月亮还是娥眉形状的时候,我们仍然可以看见月轮上其余部分还显现着暗淡的光辉(图 138、139),这便是灰光。这种光线的来源是由于地球的反射,因地球把照在它上面的日光散射在空间。对于我们来说,月亮和太阳是朔的时候,对于月亮来说,地球和太阳是望,在月亮上看地球,那时地球是一个圆轮。地球反射给月亮的光辉约为满月反射给地球光辉的 45 倍。

古代人很难解释这种二级的光辉,有些人以为是由透明的或发磷光的月亮自身所发射出来的,而有人以为是恒星的反光。开普勒说,第谷以为是金星的反光,而开普勒的先生默斯特兰(Moestlin)于 1596 年首先说明灰光的真实原因。但是,早在 1518 年,著名画家达・芬奇(Léonard de Vinci)就已经说过这句话了。

观测者在掩蔽的地方,如在屋宇下面的时候,灰光显得更要明亮一些,因为月亮的明

亮部分总有一点掩盖灰光的作用。我们在灰光里还可以辨认月轮上的大黑点，特别是在月龄三天的时候。月亮在上下弦时，肉眼差不多看不见灰光，这是因为：(1) 地球也在“弦”的位置，散射的光辉较少，因此月上的地光减弱了；(2) 直接接受日光的半个月亮把人的眼睛弄眩晕了。但是用一个拭去灰尘和潮湿的好望远镜，仍然是可以看见灰光的。事实上，仅在满月前三天，灰光才隐匿不见。在满月后三天，它又再次出现了。

关于灰光的颜色各人的看法不同，有人说是灰的，有人说是有些带绿色的，或者甚至是橄榄绿的。事实上，用色度学的方法测量，它是蓝色的，因此，地球所散射的光是带蓝色的。因照片对于蓝色辐射特别灵敏，月亮的灰光虽比较弱，但对于照片的作用，却比所想象的还要强烈得多。即使在上弦以后，灰光也还容易被照出来。朱维西天文台曾拍了一套这样的照片，我们在这里只选印了几幅。有些研究灰光的人说，在相同的月相里，灰光在早晨比在夜晚要强一些。近代的光度测量否认了这个意见。可是早上的娥眉月却不如晚上的娥眉月那样明亮，这是因月中黑点（被人错叫做月中的海）占有更多的位置。在映衬之下，灰光显得更浓一些，其实这不过是一种幻觉。

另外一种光的幻觉，便是明亮的娥眉部分显得比月轮上其余的灰光照着的部分要扩大一些，这便是英国人所说的“新月抱旧月”。这只是一种光渗的效应，这种现象是由于比灰光明亮得多的娥眉月使肉眼感到眩晕而发生的。在弦月时，月亮被太阳照着的半轮所接收的日光，比另外半轮接收地球的光线要多一万倍。

## ◀星　　期▶

月相和月亮的面貌的循环变化，使人有月和星期的计时方法，月相按一月的周期而循环，月貌每七日一变化。天空中再没有别的现象变换得这样显著，比这个更容易测定。自从人类有数的概念，就会用日和月来计时。新月的出现，代表一个月的开始，一向被教士们细心观测，他们并且用号角报告给人民。今天，在信奉伊斯兰教的国家里，例如在摩洛哥每届九月斋期起讫的时候，都举行鸣炮礼，使人知道新月的初生。古时迦勒底、埃及、犹太这些国家或民族的人也同样注意这种天象；波斯人、古希腊人都庆祝新月，奥林匹亚竞技会也在新月的时期开始；贺拉斯也说过，罗马人有新月节日，和罗马同时代的高卢人有在新月下行槲寄生的典礼；许多部落，以至澳洲的塔斯马尼亚族都有同样的习俗。

在原始的历法里，政府应该预言一年里哪些日子是合朔，人民才好预备庆祝。有一个故事曾谈到神灵命令古希腊人遵守这种神圣的习俗。由此可见，古人是怎样地努力去发

现一个使月相发生在每年的相同日子里的周期。这一发现，是天文学家默东在公元前433年向奥林匹亚竞技会上的古希腊人所宣布的。我们看一看这个默东章是什么意思：由于某种月相经29.5日再行出现，而且因为19个太阳年差不多恰好等于236个太阴月，所以19年后某月某日的月相应该和19年前的同月同日的月相相同，因此只需把19年间每日的月相记下，以后每19年内都是一样的重演，可以先期预言。经过一个默东章，月亮和太阳差不多相合在天上的同一点，换句话说，即新月发生在太阳年的同一日。这一周期，也许是古希腊人从东方人学来的〔春秋中叶，我国已经知道19年置7个闰月的方法，要比古希腊默东的发明早160多年。——译者注〕，它要经过312年才会差错一日。

古希腊人以为这是一个很美妙的发现，把它用金字刻在神庙的门额上，以供人民使用。他们把1月1日适逢合朔的那一年作为19年周期开始的一年，现行的一年在那个周期里的序数叫做“金数”。这个数字现在仍然刊布在宗教的历书上，它对于月亮和太阳的运动都是一种准则〔教会历法的许多宗教上的节日系根据复活节去推算的。复活节规定在春分或春分后满月后的第一个星期日。教会历法家把春分固定在3月21日，每年的复活节总是在3月20日以后的满月的第一个星期日。因此，复活节不能在3月20日以前，也不能在4月25日以后，于是复活节可在这中间35天的任何一天。教会历法里日期可变的节日，因根据复活节出发而推算，每年总是在前后移动。教会历法家计算所根据的月亮，也不是真实的月亮，而是一种平均月亮，有人叫做“教会月亮”。这个平均运行的假月亮，可以比真月亮提前或推后一两天月圆。例如1954年3月21日以后的满月在4月18日6时，这一天是星期日，复活节应规定在4月25日，可是实际却被定在18日〕。

上面说过，星期也是根据月亮的月相推算而来的：这是朔望两弦四相，每相七日的天然计时单元。星期的来源也很早，可以上溯到迦勒底和犹太民族，以后才传到古希腊，最后到罗马帝国。古代神话里有主要七星，数目和星期的日数相等，就用一颗星作为一日的保护神，所以今天一个星期的七天的名称，仍沿用日、月和古人所知的五个行星的名称：星期日、一、二、三、四、五、六，顺次有日曜、月曜、火曜、水曜、木曜、金曜、土曜等七个曜日的称号。

星期制自3世纪以后，开始实行于西方各国。古代的埃及和中国不用星期制，而以十日为一旬。法国大革命时代所用的旬日制，他们以为是一种创见，其实不过是恢复了几千年前的古代制度而已。



图 140　月面环形山的斜视象

# 第十一章

# 月亮围绕地球的运动

月亮围绕地球所走的轨道不是正圆而是椭圆，偏心率是 1/18。如果以 18 厘米为长轴的椭圆来代表月亮的轨道，那么两焦点间的距离只有 1 厘米，焦点距中心只有 0.5 厘米。这个偏心率以小数表达是 0.055，比地球轨道的偏心率 0.016 7 要大一些，换句话说，月轨的椭圆要比地轨的椭圆扁长一些。在公转的一周里，月亮的距离有显著的变化，这可由月轮的视直径的测量求得，因为视直径的变化和距离的变化有关系。当月亮在长轴上和焦点最接近的一端时，它的距离最短，那时它在近地点，它的视直径最大。在长轴的另一端，或者远地点，它的距离最长，视直径最小。在短轴的末端，距离是以上两极的平均数，视直径也是这样。下表记载了这个稍椭圆的轨道上直径和距离的变化：

| | 视直径 | 距离(比较值) | 距离(千米) |
|---|---|---|---|
| 最长距或远地距 | 29′22″ | 1.054 9 | 405 500 |
| 平均距 | 31′4″ | 1.000 0 | 384 400 |
| 最短距或近地距 | 32′46″ | 0.945 1 | 363 300 |



图 141　赫维留(1611—1687)

可见，在 15 天之内，月亮的距离由 36.33 万千米变至 40.55 万千米，或者说，增加了 4.22 万千米，即大约增加了 1/9。这个差异显然会表现在它的视直径上面，这也说明为什么日食有时是全食，有时是环食。距离的这种变化也会影响潮汐的高低。如果我们用近地点的距离减去地球和月亮两球的半径，那便是我们到月亮表面的最近的距离了。这距离是 35.5 万千米。在这种情形下，用一架放大 2 000 倍的望远镜看月亮，好像在 177 千米之外看一件东西那样。

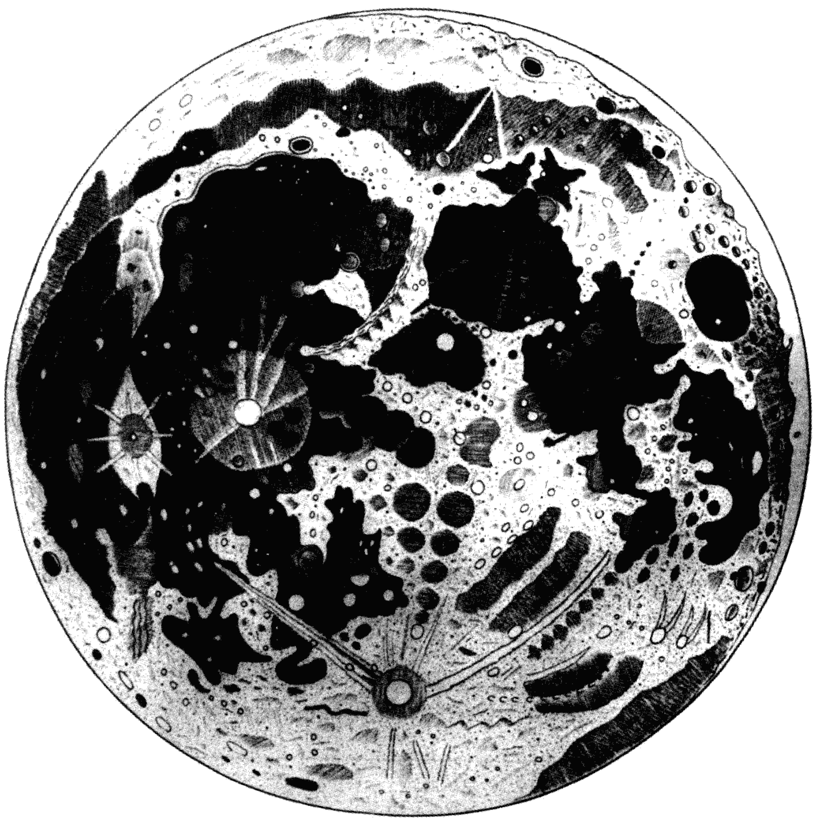


图 142　满月

1643 年，赫维留描绘。

月亮在空间的运动比地球的运动还更复杂。我们不必详细叙述，只选取最奇特的几种来说明一下：

(1) 月亮围绕地球所走的椭圆，在它的平面里不是固定的，这个椭圆绕着地球，在它平面里沿正方向即月亮运行的方向而运行。这个椭圆的长轴在 3 232 日或者 8 年零 310 日里转一周。这是与地球轨道的拱线(即连接近日点和远日点的直线)在 2.1 万年绕过一周的运动相似，不过对于月亮的情形更快得多了。

(2) 月亮的轨道(白道)不在地球绕日的黄道平面里，我们已经说过，正因为这样，所以不是每逢新月有日食，每逢望月有月食。白道的平面和黄道的平面相交成 5°多的角。这两个平面的交线叫做交点线。这条交点线也不是固定的，因为每一个交点在 6 798 日或 18 年零 224 日内沿相反方向，在黄道上转动一周。

(3) 黄白两平面的交角也在变化。它的平均值是 5°8′48″，常在极小的 5°0′1″和极大的 5°17′35″之间摆动，周期是 173 日。

初学天文的人不需要研究月亮运动的一切特点，但是知道它有这许多特点也是很有趣味的，让我们再举几点来谈谈：(4) 中心差，由于月亮轨道的偏心率，月亮在每月一周的行程里，有时超过，有时落后，差别可达 6°之多。(5) 出差，周期是 32 日。(6) 二均差，周期是 15 日。(7) 月行差，周期是一年。(8) 视差，周期与会合周同是 29.5 日，它的测定是测量地日间距离的一个好办法。此外，还有许多各种各样周期的特点，天文学家都要细心计算出它们的大小和变化，以便计算在月行的历书里去。布朗(Brown)在拉普拉斯、达穆瓦索(Damoiseau)、汉森(Hansen)、德洛内(Delaunay)等人之后，贡献毕生的精力，研究了月亮运动的理论，研究出这一复杂运动里有 1 500 多种差，这个问题自牛顿以来耗费了许多数学家的精力。幸而其中许多差都可略而不计，可是在编造月行表的时候，还须保留 500 项之多。

由月亮运动的分析，查出月行有一种长期的加速运动，每一世纪中约为 12″。假设一个观测者于 1850 年很确切地测定月亮在它轨道上的速度，我们利用他观测的结果去计算月亮在 1950 年某日某时在天上应占的位置。可是实际观测的结果表明，比计算的位置前进了 12″或 22 千米。这种相差的数量，其中的一部分已经由拉普拉斯解释过，是由于月亮轨道的偏心率的长期变小；但是还有一半差数，是由地球自转的长期变慢。这变慢的原因，上面说过，是由于潮汐的摩擦。如果地球转慢，日子就会变长，于是在一天内各个星球在它轨道上所走的路径也按比例加长了。所以我们的地球只要稍微任意运动一点，就反映在天体的运动上，可见宇宙中的一切都有联系。

在作进一步的讨论以前，我们谈一下月亮运动的另一特点，这是一般人所注意到的现象。阿拉戈(Arago)写道："英国的收获期在9月中旬，人们发觉，那时满月在太阳落下后就马上升起来，好像白天增长了似的。而且人们又注意到那时继续几个晚上，月亮差不多在同一个时候升起，在同月的其他晚上，月亮连续两次升起的时间可以相差至1时15分之多。主张目的论的人认为那时田里的工作很忙，上天故意作这样的安排，于是有人便把9月的满月叫做获月。"

为了明白为什么有获月这个现象，我们只需提两件事实：(1) 月亮的行径常离黄道不远。(2) 满月常和太阳相对，因此它那时在天上所占的位置是离6个月前太阳在天上的位置不远的。所以在我们的纬度上，冬季的满月如夏季的太阳一样，在天空的高处照耀，至于夏季的满月也如冬季的太阳一样，暗淡发红，徘徊在天际的云雾里。现在，我们再来谈谈9月里的满月，它那时的位置接近春分时太阳的位置。月亮在18时升起(这是真时，太阳也大约在那时落下)，因为在继续那几天里，它的赤经增长得快，所以它继续两晚的升起迟延不过几分钟。农民所以注意到这个现象，就是因为在那时白天正是变短的时候，而忽然出现这种有益的月光。

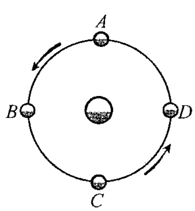


图143 月亮对于地球的运动(不考虑地球围绕太阳的运动)

要想对于我们的卫星的运行有一个确切的概念，请看月亮绕地球每月的运动和地球绕太阳每年的运动综合而成的结果是怎样的。假使地球不动，月亮运行一周之后，重新回到出发点，轨道将是一个闭合曲线，如图143那样。可是地球不是静止的。例如，当月亮由$A$到$B$的时候，即是由新月到上弦的时候，地球在它的轨道上向右边去了(图144)，在7天之内，它已带着月亮在空间走了7×257.2万千米，上弦发生在$B$；再过7天，地球走得更远了，满月发生在$C$；再过7天，下弦发生在$D$。当月亮绕地球一周，再回转到$A$，它在空间里所走的，事实上不是一个如图143的闭合曲线，而是如图144那样，连接$A$、$B$、$C$、$D$、$A$那些位置的曲线。但事实上，这条曲

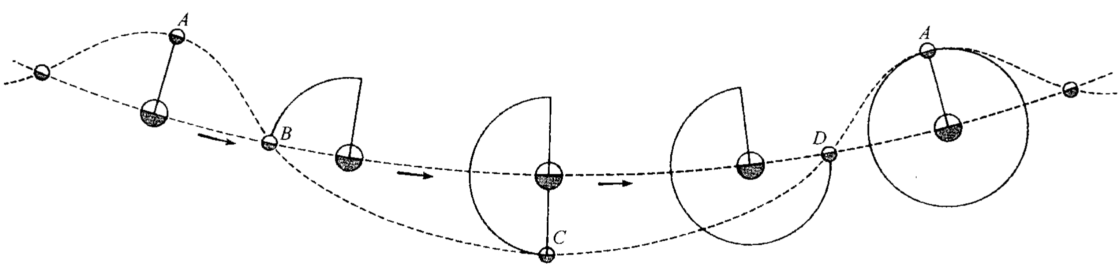


图144 月亮绕地球和地球绕太阳两种运动的合成(示意图)
为了使图画清楚起见，我们夸大了地月间的距离和两球的大小。

线也不像图 144 所绘的那样的波状曲线，而是张开得很大，因为月亮的轨道比地球的轨道范围小得很多(大约只有 1/400)。这条曲线的确切形状如图 145，它常以凹面对着太阳。

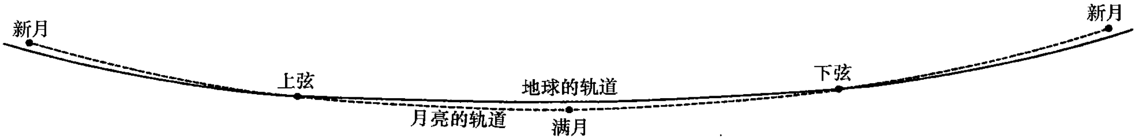



图 145　月亮的真实轨道
这幅图是按比例绘出的。

## 月亮的质量和密度

我们已经知道月亮的距离、大小和运动。我们现在将要飞到它起伏不平的表面上去看一看。在作这个旅行以前，还有一点必须加以说明。那便是它的质量、组成它的物质的密度和它表面上的重力。我们怎样来测定月亮的质量呢?

我们只需了解天文学家所用的方法，不必详细理解他们的技术。

对月亮质量的测定，是由分析它对于地球所产生的引力的效果来决定的。这个效果当中最显著的一个便是潮汐。由于我们的卫星默默地吸引海水，使海水每日升高两次。准确地研究这种升高的水的高度，我们就知道掀动这些水的力量有多大，因此便可以推算出产生这种力量的质量是多大。这是第一种方法。

第二种方法建立在月亮对于地球的运动所产生的影响上面。前面说过，因为有月亮，使得地心围绕地月系统的重心走了一个轨道，这种运动表现在太阳的视行发生了一种周月差。对太阳的观测可以测定这个重心对于地心的位置，从这里便不难推算出月亮的质量。用这些方法所测定的月球的质量是地球质量的 1/81。地球的质量是 $6\times10^{24}$ 千克，因此，月球的质量为 $7.4\times10^{22}$ 千克。

由此结果所推出的月球平均密度是 3.36，仅为地球平均密度的 3/5。因此，月球的平均密度并不比组成地壳岩石的平均密度(2.7)大多少。

月球表面的重力比我们地球的小，假设地球吸引它表面上物体的力量为 1 000，在月面上，这个力量就减小为 166。月面上物体的重量仅为地面上重量的 1/6，这是因为月球吸引它们的力量只有地面上的 1/6 的缘故。1 千克重的石头移到月球上去，只重 166 克。地球上 70 千克重的人，在月球上只重 12 千克。假想有人到了我们的卫星，而且在那里仍然是和在地上一样的身强力壮，他便可举起 6 倍重的东西，而身体则只有原来的 1/6 重。

肌肉稍微用力，便可跳到惊人的高度，跑得可以像火车那样的快。在本书后面我们可以看见，由于月面重力的薄弱，如何影响了它表面结构的形成和演化。



图 146　傍晚天上的新月



图 147　风暴之时的小港

# 第十二章

# 月亮对于地球的影响

如果读者没有忘记上一篇里的阐释，应该知道为什么海水每天涨落两次从而造成有规则的潮汐现象。这种现象使古人很烦恼，绞尽脑汁还是莫名其妙，可是留心观测的人便会发现，在潮汐和月亮的运行这两者之间存在着一些联系。古代也有几位天文学家认识了这种联系。例如奥古斯都时代的古希腊作家克累奥梅德(Cléomède)在他的《宇宙论》里明白地说"月亮产生潮汐"。普林尼(Pline)和普卢塔克(Plutarque)也曾经这样说过。可是这并没有得到证明，而且还有人加以否认。在近代，伽利略和开普勒也不相信。直到牛顿，才开始用数学来证明，拉普拉斯完成了这项工作，证明潮汐现象确实是由月亮和太阳的引力所造成的。

天体力学给我们证明了太阳潮和太阴潮之比是 1∶2.17。本书虽然不作数学上的推演,可是好学的读者要想知道这个比例,也是不难明白的。万有引力定律表明,引力的强度是和吸引物体的质量成正比,而和它们之间距离的平方成反比。读者可参阅图 99 和那里的解说。我们可以证明,使潮汐发生的原因并不是太阳和月亮的绝对引力,而是海洋上的 $A$、$B$ 两点和刚体的地球 $T$ 所受的引力的差异。用数学的语言来说,这是一种微分效应。在和距离平方成反比的力的情形下,微分效应便和距离的立方成反比,但仍然和吸引物体的质量成正比。

所以月亮和太阳两种潮汐高度的比例,是将日、月两体和地球距离的立方比除以它们的质量的比。太阳的质量是月亮质量的 $2\,710\times10^4$ 倍;日地间的距离,就平均值来说,是月地间距离的 389 倍,389 的立方大约是 $5\,886\times10^4$。用 2 710 去除 5 886 便得 2.17,就是说,太阴潮是太阳潮的 2.17 倍。

根据第一篇第七章所说的简单理论,潮汐波由东向西,沿周日运动的方向传播,继续两次高潮中间经历的时间是半个太阴日,即 12 时 25 分。但是必须假设全球都是海洋,情况才是这样。海岸是潮汐波传播的障碍,当潮汐波冲进狭窄的海峡(如英吉利海峡、爱尔兰海峡)的时候和对面而来的波涛互相碰撞,波涛的振幅(高度)逐渐增加。图 148 代表在英法两国之间的海里,月亮中天和高潮到来中间所经过的钟点。这里海岸阻挡潮汐的影响特别显著。

潮汐进入窄海,就变得愈来愈高,对于英吉利海峡固然是这样,对于大河的入海口这种现象尤其显著。驰名的钱塘潮〔指我国浙江省杭州湾钱塘江口的大潮。——校者注〕,凶猛得真是惊人。法国塞纳河入海的维勒基耶(Villequier)和科德贝克(Caudebec)两处也有这样的江潮,在春秋分附近(2 月至 4 月、8 月至 10 月),这种现象更是壮观。这种江潮常出现在潮汐涌入的河道里,潮头像高山一般滚滚而来,阻住江水入海,以相当高的速度溯流而上,有些历书如法国经度局的历书预告每年这种现象将要发生的时期。

当这种江潮来时,如果小船没有及早躲避在安稳的港湾里,一定会遭遇不幸。在塞纳河下游,江潮在浅海里形成,大潮来时,逆流一转即成风起水涌之势。河的流量、气象的情况以及塞纳河出口海岸的暗礁的情况等等,均助长波涛的汹涌,但近几年来,情况不凑巧,波涛亦不如过去那样厉害了。表现在潮汐的月日引力有一种明显的效应:在一定的地方,重力有微小的变化,这一变化可达千万分之一,这是可以由重力和生潮力的比较而推算出来的。保存在巴黎附近国际度量衡局的 1 千克的标准衡器的质量是不变的,但是它的重量即它所受的向下拖引的力量,是每日一周期地增减 0.000 1 克。这样的变化.是不能用

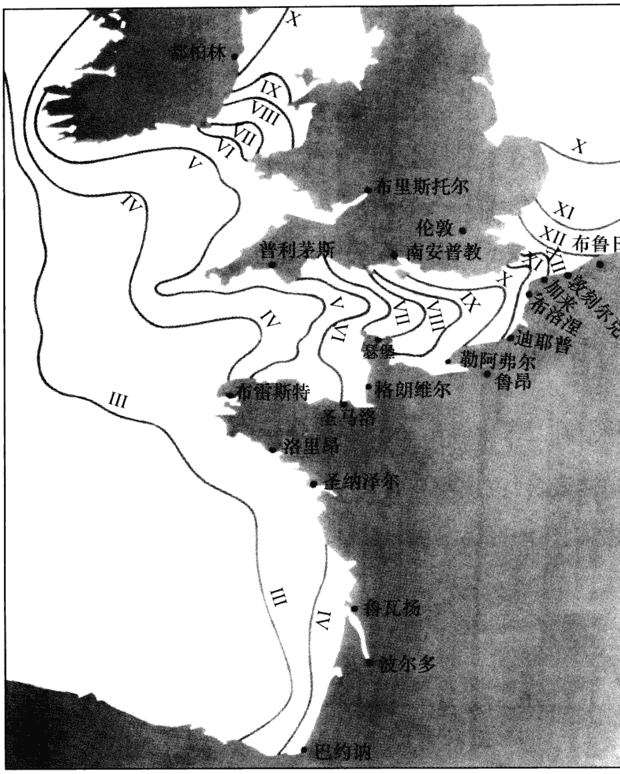



图 148　英吉利海峡里潮汐的传播

附有罗马数字的曲线表示月亮中天后每一小时内潮汐的位置。

通常的天平检查出来的，因为在天平两端平衡以后，两端的砝码与物的重量同时增加或减少，天平的平衡不受破坏。但是，我们可以使用一种很灵敏的如像弹簧秤那样的测力计，使欲测的力量和弹簧的弹力取得平衡，这样就可以测出这种变化。现在科学家制造出一种重力计，非常灵敏，可用来观测重力的周日变化。月日引力的变化虽然十分微小，但这种重力计却可以把它表现出来。这是潮汐理论的一种有力的证明。



图 149　科德贝克(Caudebec)河口的江潮

我们可以问：太阳和月亮是不是也可以在大气里造成潮汐？科学家曾经详细地分析了气象台气压表上每日的记录，以寻找太阳和月亮对于大气的影响。太阳的影响是显著的，例如在巴黎，地面压力平均每天有两次极大值，一次在早晨，一次约在22时；另外，其中间有两次极小值。这种变化的平均总幅度，比1毫米汞柱稍微大一些。如果这真是由于太阳所引起的气潮，那么我们也应该找到月亮引起的气潮，而且幅度应该约大一倍。但是，人们并没有找到这样的太阴潮，这与一般人以为月亮对大气的影响很大的看法是不相符合的。如果没有太阴潮，自然也不应该有太阳潮，于是上述气压的周日变化，应当解释为由于地面空气先热后冷而引起的垂直运动。这就不是引力，而是热力的效果了。

我们现在谈到另外一个常常引起争辩的问题，即月亮对地球的影响。如果我们承认"人言即神言"这句谚语，便应该相信月亮对于地球和地面上的居民有很大的影响。一般人以为气候的变化、大气的情况、动物、植物、鸡生蛋、麦结粒以及地面上的所有一切，都受

图150 高潮



月亮的影响。我们日常的语言，许多都和月亮发生联系，从“蜜月”以至“赭月”。在这些因袭的信仰里，究竟有些什么事实的根据呢？

法王路易十八有一天对向他献历书的经度局代表们说：“我很高兴看见你们在我周围，因为你们会向我解释赭月是怎么回事，以及它怎样影响收成。”这句话特别是对拉普拉斯说的，可是他茫然不知怎样回答；这位大数学家虽然发表了许多关于月亮的文章，可是绝没有想到赭月上去。他望望他的同僚，没有人敢于回答，他便开口说道：“陛下，天文理论并没有谈到赭月，因此我们无法满足陛下的好奇心。”法王把他的经度局的大学者们难住了，很是高兴。那天夜里，在游戏时，他还特别把这件事拿来取乐。拉普拉斯听了心里不安，便去请教阿拉戈询问这个有名的赭月究竟是怎么一回事。阿拉戈便到植物园向园丁和老农们请教。下面就是他探询到的结果。

图 151　低潮



种园的人们所说的赭月，发生于4月，在那月末或者5月内而变成满月。根据一般人的见解，四五月间的月光对于植物的幼苗有一种破坏作用。据说，在晴朗的夜里，有人亲眼看见幼叶嫩苗在月光下变成赭色，虽然在空气里温度计还在零上几度，可是新生的植物已经冰冻。而且他们还说，如果天上有云遮蔽月光，不使它照着植物，即使气温相同，亦不致产生相同的效果。为了研究这种有害的作用是不是真实的，我们先讨论一下这个所谓赭月的时期。首先，它的定义是含糊的，4月内开始的新月，不一定在4月末或在5月内变成满月。例如，1946年4月的月相，朔在2日，望在16日。在这样的情形下，如果农人们问天文学家，这个需在4月末或5月内变成满月的赭月何时开始，你想这位天文学家该怎样回答。

可是阿拉戈经法王这一问难，把事情弄得更复杂化了。事实上，这些园艺家们所说的赭月毋宁说是在复活节后的那个太阴月（朔望月）。譬如在1946年便该是朔月（新月）在5月1日的那个太阴月，如果是这样，那么一年就会有两个赭月了。

在我们讨论完所谓赭月难于确定的时期之后，再看看这现象的本身又是怎么一回事吧。月光所含的能量是很薄弱的，能使幼苗冰冻而不会使气温降低，这是一种奇怪而不合理的见解，应当弃置不论。而且这里所说的冰冻是否属实，我们很难判断。

事实上，在野外所放的温度计上的温度，未必一定代表空气本身的温度，也不表示它所接触之物的温度，它只代表玻璃管内汞的温度。因暴露在风中和夜天光里，并受周围房屋和物件的辐射，温度计可表现出各种各样的温度。需要特别留心方能证明植物冰冻的温度实际上低于周围的温度，而且这件事也只有气象学家才能去证实。事实上，气象学家就因春季推迟从而有害于农作物一事，曾经做了许多小气候学的重要研究，但绝没有谈到什么赭月这个因素。比较相反的情形，在晴朗而又没有云雾的夜里，土地、石块以及植物会迅速地变冷，乃是一件屡经证明的事实。为了避免这样的温度下降，农民故意造出一种雾气来保护农作物。

四五月间的晴夜，对于农作物诚然是可以有害的，但是却和月亮丝毫没有关系。在有月亮的夜晚，天清气爽是有目共睹的；在无月亮的夜晚，就很难使人去注意空气的透明程度了。月亮出现是好天气的结果，而不是因为月亮才造成了好的天气。我们可以总结说，事实上并没有赭月。自然，我们还可以举出许多有关月亮或月相与气象之间的关系的谚语，例如"月亮吞云雾"之类，但是这就不必再辩论了。如果气象和月亮之间有一种久经考验的因果关系，可以用做气象预报根据的话，那么气象学家为什么不去用它，反而把它置之不理呢？非常可惜的是，这些话语有些只是一时的现象，未曾经过长期的考验，在事实面前是没有实际价值的。



**图152　卡西尼（1625—1712）**

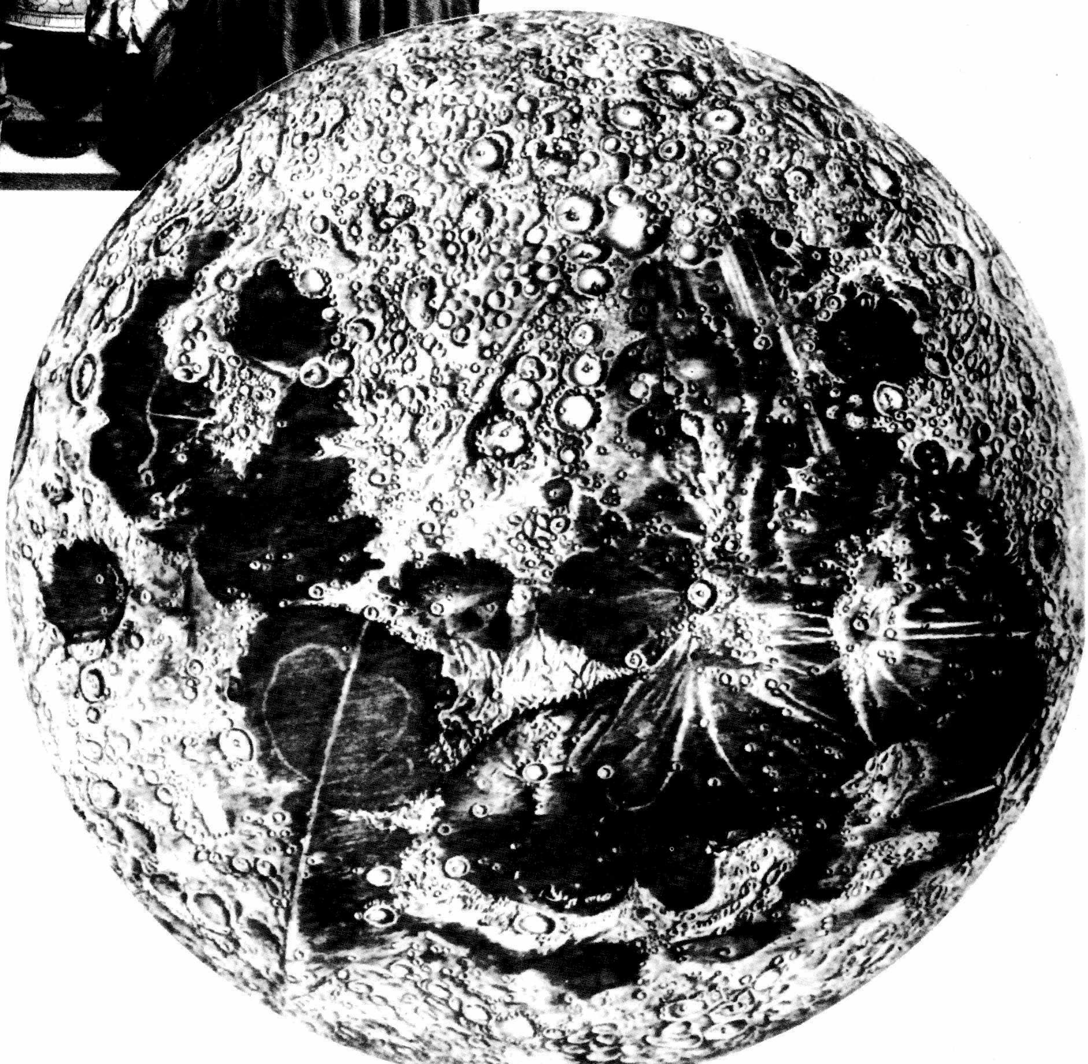


**图153　卡西尼所绘的月亮图**(1680)

按巴黎天文台的样本复制。

关于农业的有些谚语，也像气象的有些谚语那样，是没有真正根据的。如“月初换桶的酒不会澄清”、“月初播种的生菜和白菜不会卷心”等等，说这些话的人是不是考证了反面的事实，因为这是科学研究所必须做的。他们一定没有这样做过。他们把符合他们主张的事实记录下来，而对于不符合的事实就忽略过去，认为没有或者例外。如果白菜是在认为合适的月底播种，但不卷心，他们便会一声不响地把它拔掉，或者责备雨、旱、风、虫等等祸害，而却不责备谚语的荒谬。但是你也许会说：为什么月亮能产生潮汐，而不影响植物或动物呢？不需要思索便知道这是瞎扯。掀起海水的简单机械现象和使白菜生长或鸡下蛋那类异常复杂的生物现象，怎么会有类似的地方呢？

太阳辐射所具有的能量比月亮光线所具有的要大得多，太阳才真正和地上的生命与气象的变化有关系。太阳的能量虽大，但却不是像数学那样严格地规定季节的变化。我们都知道，有迟来或者早来的春日、凉爽的夏季、温暖的冬季等现象以及花开的日期可以在年历上或迟或早一月之多。可是人们却以为月龄上几天的差异便会影响酒的发酵和植物的生长，甚至在几个月前判断收成的丰歉，在几年前预推将来砍伐的木料的好坏，那怎么可能呢？

这一切都不过是过去巫术和占星术信仰的残余，它们曾经在许多世纪里使人类的思想离开了真正科学的道路。

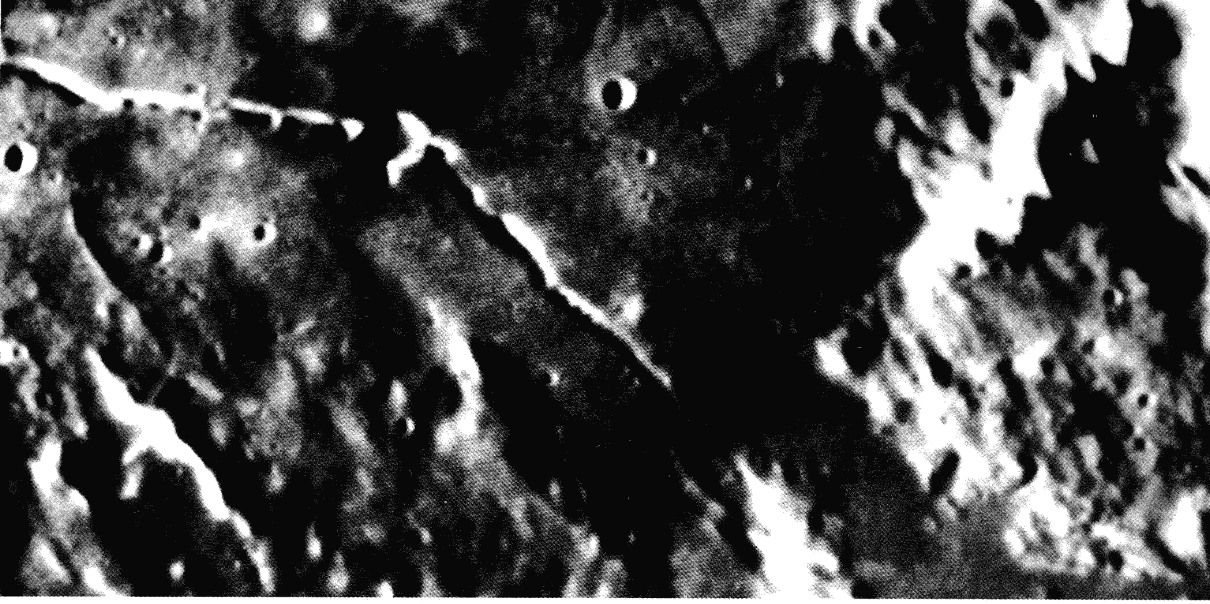


图 154　伊纪努断裂痕

# 第十三章

# 月亮的表面状况

月亮不断地对地球提出问题。人类对于已拥有的知识从来不会满足的。我们总是想明了万事万物的性质，在无法深究的地方才去加以猜测。能从像月亮这样近的一个世界去探索那里的真相，岂不是很愉快的事？真的，月地间的距离只有 38.4 万千米，和恒星遥远的距离相比，真可算是近在咫尺！古代哲学家大多数都谈到月亮，他们因为缺少观测工具，就凭借自己的理解和想象去设想月亮的表面状况。有些人猜测它不是自己发光，而仅反射太阳照在它上面的光辉。自泰勒斯（Thalès）以来，阿那克西曼德（Anaximandre）、安那克萨哥拉（Anaxagore）和恩培多克勒（Empédocle）都有这样的看法。毕达哥拉斯（Pythagoras）和他的弟子以为月亮里有像地球上那样的土地，那里的动物比这里的还要庞大而且美丽。还有一些古人以为月亮是一面大镜子，它从天上反映出地球的情况。这些种种看法很难和月相的现象相调和。

月亮的光辉是从太阳而来，这一点光谱分析已给我们证实得很明白。但是月亮不是

一个完美的散光体，它吸收了绝大部分来自太阳的能量，它所反射出来的不过只有7%而已。因月亮吸收的日光约有93%，从光谱中检查，由红端到紫端吸收之量愈来愈多，所以月亮比太阳看来更要黄些〔近年来所拍摄的月亮的彩色照片完全证实了这一点。——校者注〕。这种说法也许会引起读者的怀疑，因为人人都感觉到月光是淡蓝色的，比太阳的光辉冷静得多。但是，这只是一种光学的幻觉，或者说是一种生理的现象，在科学上叫做普尔基涅(Purkinje)效应。

下面的实验给我们说明这个效应的意义。假想我们在银幕上投射一线白光的光谱，这一光谱从红到紫呈现在我们眼前。于是我们逐渐使光辉微弱(例如用一个光阑套在投射透镜上逐渐缩小光圈)，光谱里各种颜色就按同样的比例黯淡下去。光谱上各部分光亮逐渐变暗，以至在快要看不见的时候，我们便感觉到红、黄两色比蓝、紫两色显然消逝得更快，一直到难于看见。如果不把光线分开成光谱，而只将一个白色光点投射在银幕上，这一光点在逐渐变弱，在完全看不见以前，先转变成了蓝色。

画家在要表现很微弱的光线时，常常故意选择冷的色调，而把热的色调用来表现太阳。从光度的角度来说，好像是弄错了，但从生理学的角度来说，他们却是对的。实际上，月光应该比日光更黄一些，因为由月面散射的光线中所含有的蓝色辐射要比日光更少一些，但是普尔基涅效应将颜色的感觉改变了方向，结果这效应占了优势。名画家夏凡纳(Puvis de Chavannes)给他的名画《圣女守护沉睡的巴黎城》的色调是近于锦葵的蓝色，在观众眼里是非常自然的。

科学家曾用特种光度计，测量了夏季正午太阳的日光和满月的月光两者之间光强度的比例，这比例大约是40万。将月亮在各种月相的光亮一并计算在内，太阳在20秒钟里所发的能量，比月亮在一年里所发的还要多些。

大家总以为月亮的亮度与它被太阳照着的部分成正比例，例如满月比两弦时要亮2倍。可是光度的观测却证明这是很大的错误：满月比弦月要亮12倍。换句话说，在相等的表面，满月要比弦月亮6倍。在具有大视场低倍率的目镜的望远镜里很容易证明这一件事。如果肉眼在黑暗里停一会，然后用这样的望远镜去看娥眉月，感觉是舒适的，可是对象如果是满月，则有一种令人昏眩的感觉。下表使我们了解月亮的亮度随位相角(即月亮和黄道上与太阳直径相对的一点之间的角度)的变化而变化，表中以满月的亮度作为100计算。

我们已经说过，月亮离太阳7°即位相角173°的时候，娥眉月已经消逝不见了。

| 位相角 | 亮　度 |
|---|---|
| 0° | 100(满月) |
| 30° | 46 |
| 60° | 21 |
| 90° | 8（弦月） |
| 120° | 2.5 |
| 150° | 0.4 |
| 180° | 0.0(新月) |

天文学家用反照率来表示星球散射日光的能力。反照率是入射日光和星球散射部分的比例，余下的便被星球吸收了。天文学家计算反照率的方法是用光度计来比较各位相的星球和太阳的比例。鲁纪耶(G. Rougier)用这种方法测得月亮的反照率是0.073。所以我们的卫星在可见辐射区域里吸收了它所接收日光的92.7%。

为了比较起见，在这里提一下按照灰光的光度测量求得地球的反照率是0.39，它比月亮的反照率大5倍多。从月亮上望地球，地球在天空的圆轮的直径约为2°，即为由地球上望满月的4倍，如果月亮上有居民，"月中人"所见的"地光"，要比我们所欣赏的月光明亮得多。还必须说明一下，作为行星，悬在空间里的地球，比太阳和月亮都要蓝得多。譬如，从金星看地球，它将会像天上最亮的星，如天狼、织女、南河三(即小犬座α星)一样蓝，当然，这必须在大气中没有大量云雾的时候。同时，在金星上看，月亮是黄白色的，而火星则呈现熊熊火光那样的颜色。

人类用肉眼看月亮，最初想象的图画一定很像人的面貌，因为月面斑点的位置颇和眼、鼻、唇等部位相当，所以有那样的想法。这种相似的模拟不过是偶然的，因为有些人在月面上看出负薪的人形，有些人又以为是一只兔子。但若用一架望远镜，即使是小倍率的望远镜去看月亮，这种不正确的印象便立刻消逝了。

1609年伽利略首先用望远镜观测月亮，他在那里面发现高山和深谷(构成那时人们所没有想到的凹凸起伏)以及被他比做孔雀羽毛上的翠眼那样的环形山。自从那时以来，关于月面形状的详细研究有了很大的进步，如我们在下面所要陈述的。可是，我们所认识的只是月亮永远向着地球的那一面，因天平动的缘故，我们所能看见的也只有全月球的3/5，其余的2/5的月面只好留给未来的星际航行家乘火箭环游月球时去欣赏了〔苏联在1959年10月4日发射的第三枚宇宙火箭，将自动行星际站发射到高空，在它上面已经拍摄了月球背面的照片，用无线电将月球背面影像传到地球上来，并在10月27日公布了第一批月球背面的照片。——校者注〕。将观测者或自动的仪器放在炮弹里，抛射到月球上去，在今天已认为是幼稚的见解。因为要使一枚炮弹达到月球，它离开大气时的速度必须是每秒11千米，又因为大气阻挡运动，所以炮弹被射出大炮口的速度还要更大得多。没有什么东西能够抗拒这样的冲击力。只有慢慢加速，如像火箭那样的机器，到月亮去探险才有成功的可能。

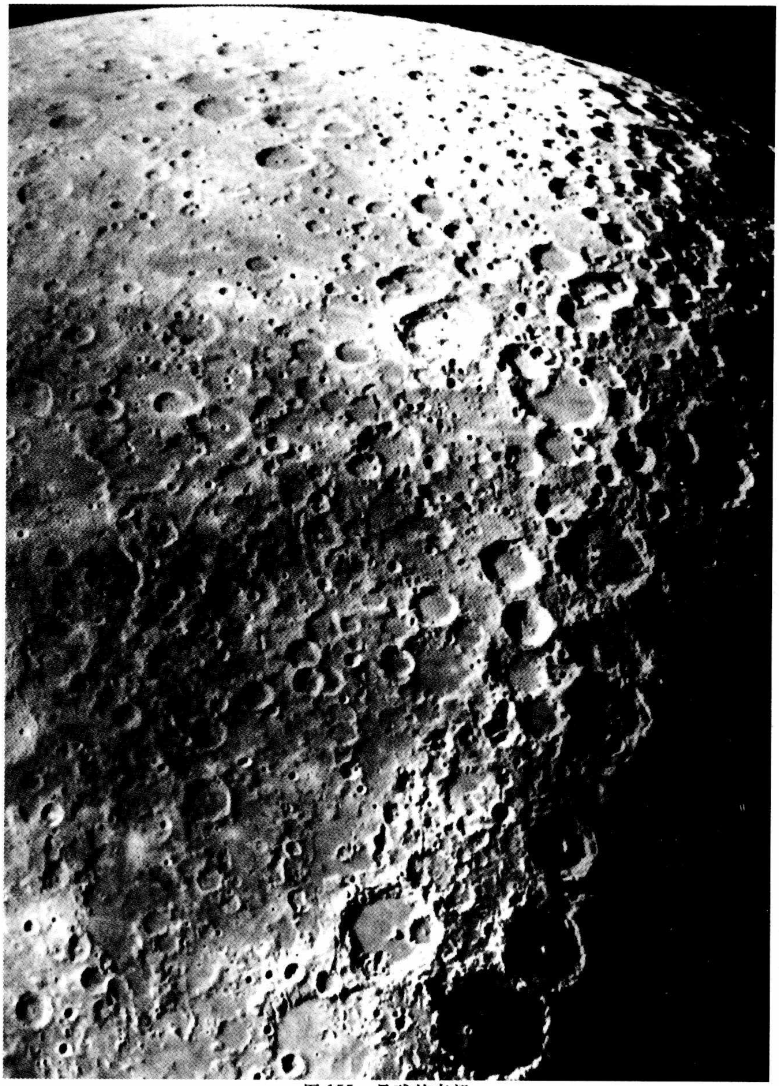


图 155　月球的南部

与本章所有的照片相同，这是倒像，北方在下边(1944 年 1 月 3 日日中峰天文台拍摄)。

## ◂ 对月亮的观测 ▸

夜晚，用天文望远镜望着月亮，其景象是动人的。月面上山岭起伏的形势，好像被光和影蜿蜒雕琢成似的。在上下弦时，黑影清晰，使这种起伏的形势格外突出。在满月时，因日光直射，使我们感觉月面是一片石灰铺成的沙漠。月面最富有特征的地方，显然不是

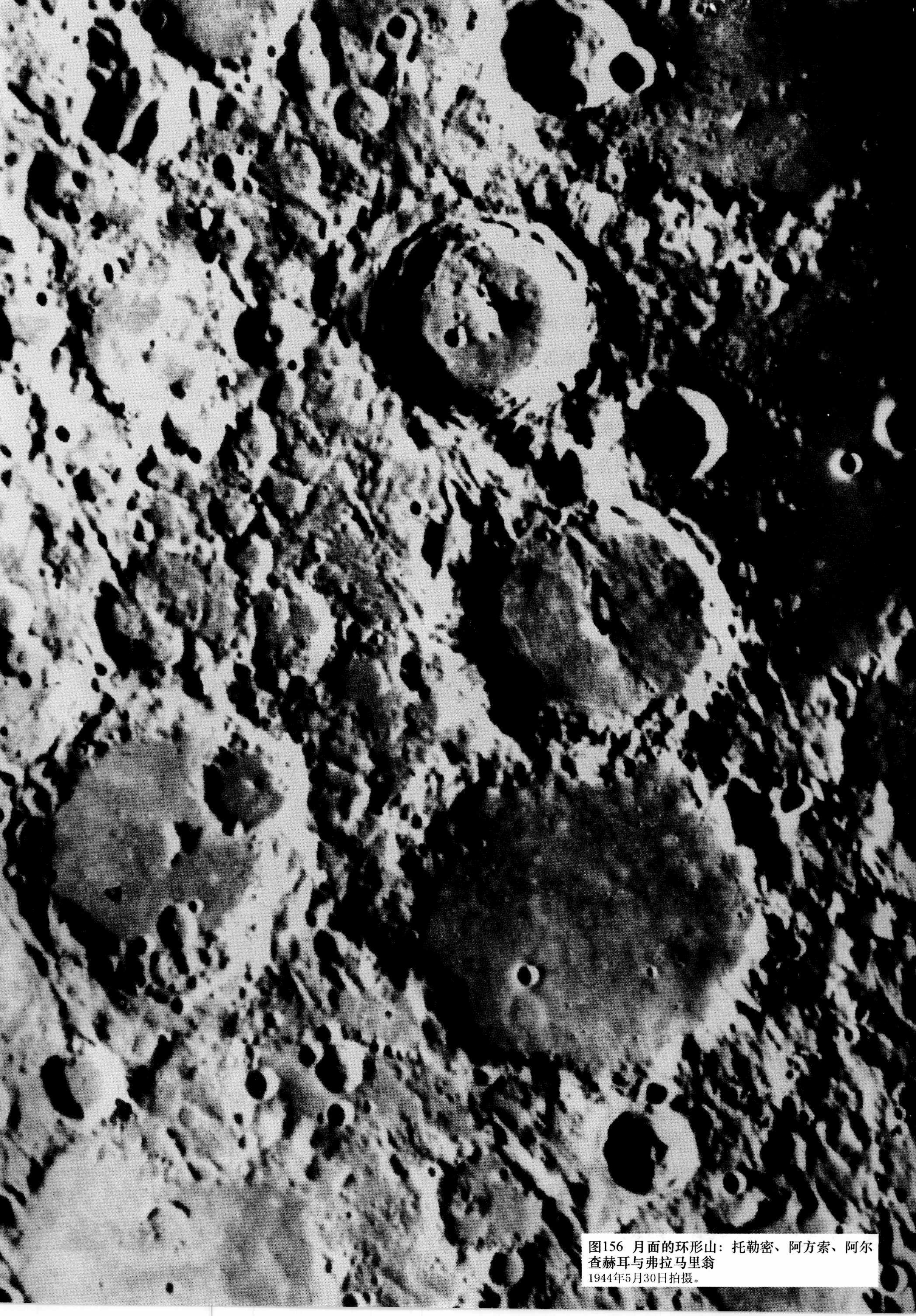


**图156 月面的环形山：托勒密、阿方索、阿尔查赫耳与弗拉马里翁**
1944年5月30日拍摄。

偶然的结构，这些地方显然是按照一样的图案所造成的，这些是巨大的“圆形广场”，被天文学家按其大小叫做火山口或者环形山。图 156 表示环形山密集的情况，那是借 30 厘米口径、4.50 米焦距、放大率 200 倍的望远镜所看到的景象。这好像是把月球放在 2 000 千米以外的情形。将来星际航行者在离月面这样高的上空里，隔窗望去，就会看见这个景色。

在黑影的极限处右方，从月面掠过的光线使凹凸的形势更是突出，坑穴显得像无底深渊一般，在环形山低处隆起的地方又被阴影所扩大。这幅图里下方黑影的边缘上有一个具有小坑穴的大环形山，叫做托勒密山。它上面的一个环形山叫做阿方索(Alphonse)，这是为了纪念一个曾做过国王的天文学家而命名的。在此环形山的中心，有一个闪耀着光辉的山峰。图中在此山的上面是一个具有台阶形的深环形山，名叫阿尔查赫耳(Arzachel)。

为了更清楚地察看这个区域，我们再把它放大 400 倍，如图 157 所示。它的细节部分看来是多么的显著！我们看到，在托勒密环形山的底部有一系列的小坑穴。在这个环形山中部偏左有一个大坑穴，其凹下处像一只大碗，在这个大坑穴下面还有一个很老的好像已经被冲刷作用所削平的环形山的墙壁。这幅图右下方的那个环形山名叫弗拉马里翁。

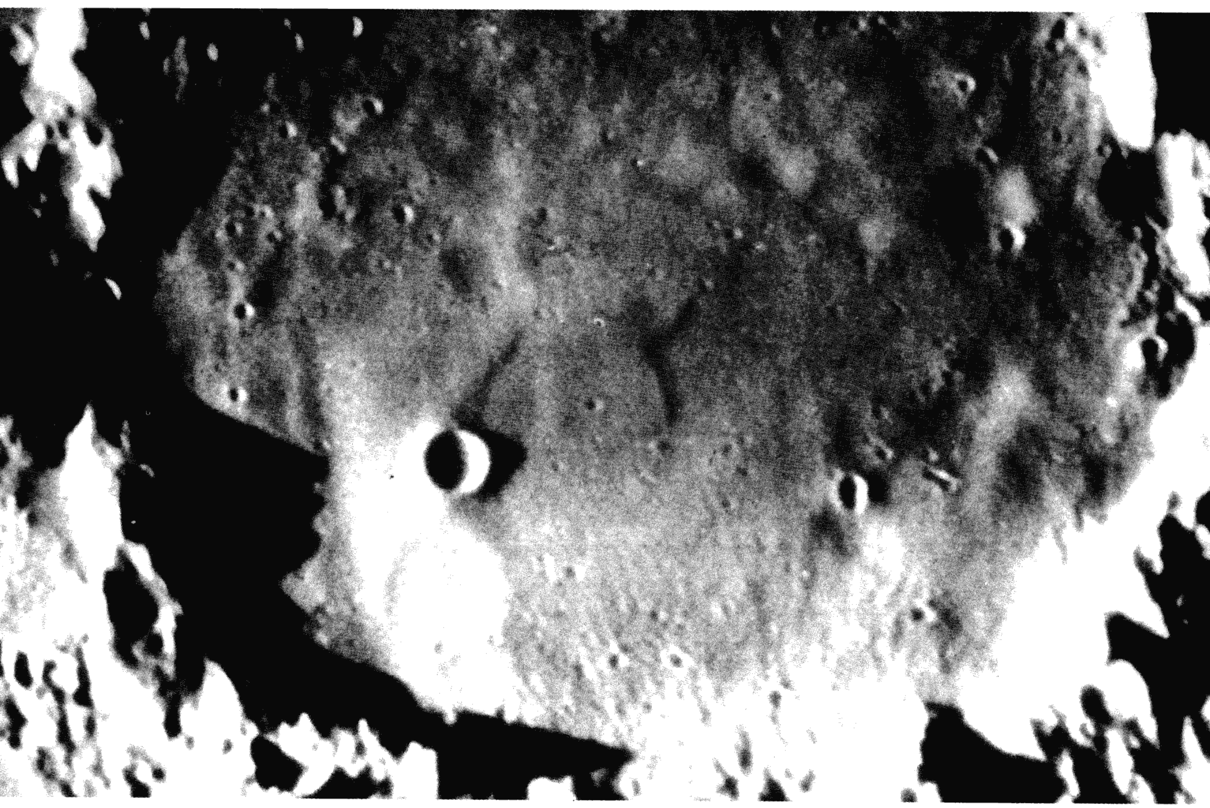


**图 157　托勒密环形山**
1945 年 3 月 21 日拍摄。

大家或者会想，放大一倍便是把像的大小增加一倍，那么也就使我们更接近月面，由2 000千米而减至1 000千米，我们便会看出两倍小的细节。可是事实上并不是这样，因为我们在地球上观测，而地球周围环绕着一圈大气；我们透过这层大气去看星球，对于穿过大气的光线，情形常是不利的。空气的扰动、冷热气流的对流，常使星像在望远镜里显得抖动。由于常常受了大气的阻挠和限制，我们的观测不能达到十分精确的程度。而且，即使在澄静的天气里，望远镜的光学性能也是极精确观测的障碍，如果再增加放大率，细节便将成为模糊不清的状况了。

为了看得清楚，观测者首先需用口径较大的望远镜，其次需要有耐心，另外，还需乘机利用特别良好的大气状况。大气的扰动变化得非常厉害，可是在有些日子里比较适宜于观测。可能遇到一个短暂的时期，大气特别澄静，如果由于凑巧或者由于勤勉，我们恰在望远镜那里，那时我们才有可能把很高倍率的放大目镜使用上去。最好的办法便是把大口径的望远镜装置在大气特别澄静的地方。所以新近去世的法国天文学家李奥(B. Lyot)在比利牛斯山最高峰的天文台进行观测。他在日中峰(Pic du Midi)天文台用60厘米口径、18米焦距的望远镜在3 000米高处所拍的月亮的美丽照片被我们用来作本篇的插图(图123)。荫蔽仪器的圆顶直径只有10米，需使用两个反光镜，经过反射将光线折为三段。这种物镜也是很完善的。

因有空中缆车的交通工具，观测者只需短时间便可达到日中峰的最高处。从瞭望窗往外望，天际间陡峰壁立，令人想到月亮里光秃秃的情况。我们在这个夜晚的旅程里，心理上即已做好准备，当目镜把我们带到邻近世界去的时候，这不过是比利牛斯山上空中旅程的继续而已。

让我们像李奥在日中峰用望远镜进行观测那样，再去看一下托勒密那座环形山吧。放大率虽已经达到900倍，但是观测者还是感觉吃力。图157内的细节好像在30厘米外所看见的景象。这一次在环形山圆场的底部出现了几百个小坑穴。图上最小的坑穴直径是600米，但用肉眼还可看到更小的、口径为300米的小坑穴。如果你有一天去看这个景象——这将是宝贵的机会——你将终身不能忘怀。

一方面由于大气的稳定，另一方面由于仪器的精确，我们已经达到对月球观测的极限：在它表面大约300米范围的细节都可以一一识别出来。

## 月面形势

图158表示月面上各种各样的山。图的右部我们叫做雨海，其实海这一名称是不恰



图158 阿基米德、奥托吕科斯、阿里斯提吕斯环形山和亚平宁山
1944年5月30日日中峰天文台拍摄。

当的。这是一片广大的阴暗区域，底部差不多是平坦的，只是有些突出的褶皱和一些或明或暗的斑痕。左角上有一些大陆，比海要亮一些，也高一些，它们是被复杂的地势所分裂而没有联系的。有些大陆主要是连绵不断的山脉，图 158 的左上方便是一个这样的例子，叫做亚平宁山脉。这条山脉上有些峰峦高达 4 000 米，最高峰高出附近海面 4 540 米。利用这些山峰的阴影，用三角测量的方法，就很容易测出它们的高度。这些山峰常常是陡峻的，但却没有直立的山坡和锋刃式的山脊。这些连绵不断的群山是在很古时期形成的，它们曾经经过长期的侵蚀。

陆上也如海里一样，到处都是环形山和坑穴，直径有大到 200 千米的。图 158 里的大圆场名叫阿基米德，直径是 85 千米。这是一个老年的环形山，已经遭过剥蚀，只留下四周的墙壁，在它的中部充满着和海一样的物质，它的底部平坦，但因为月亮是球形的，故略微显出凸起的形态。以上几幅图里的托勒密环形山也是这样的，奇怪的是这座环形山内部比邻近的海还要暗黑，一切环形山都有这样的现象，而柏拉图环形山尤其显著。

再看一下图 158 中部上边有一座环形山，名叫阿里斯提吕斯(Aristillus)，此山山脊如锋刃，四壁耸立，好像没有受过侵蚀，在它的中心有一个像是用乱石堆成的山峰。对于近期的环形山来说，阿里斯提吕斯算是出奇的大了。在整个月亮上，到处都是少年期的小直径的环形山，不规则地分布在海洋和陆地上，它们都是在近期形成的，常夹杂在古代的环形山和山脉里面。它们的直径从几百米以至 20 多千米不等。

图 159 右边表示一座异常美丽的结构，名叫哥白尼。这是少年期环形山中最大的一个。它像阿基米德，直径也是 85 千米，但是它的墙垣没有被侵蚀。在它周围 200 千米附近有许多孔穴，这也许是在环形山形成时被石块所冲击而成的。这种冲击，甚至还使得表面上形成了许多裂缝。从这一中心射出许多明亮的斑纹，当满月时，迎面被日光照着，显得特别明亮，环形山里面好像满满地覆盖了一种明亮的灰。图内的中心靠下方一点的地方有一座很古老的圆场，除墙垣的顶部之外，几乎全部被淹没了，只留下一个大圆圈。我们可以想象，从前大陆曾经陷落在这一区域里。

图 160、161 表示汽海附近的奇特形态，这里许多地方显现龟裂的纹路。这种裂纹叫做辐射纹。图 160 是特里斯纳凯尔(Triesnecker)环形山的照片。那里断崖交叉，使附近的土地发生裂隙。图 161 表示更大更曲的裂口，名叫伊纪努斯(Hyginus)辐射纹。这些辐射纹不深陷，边沿被剥蚀，墙垣也不直立，而且可说是坡度缓慢，好像一部分被附近海里的粉末状的物质所填塞似的。



图159 哥白尼和厄拉托逊环形山以及被掩埋了的斯塔杜斯垒壁

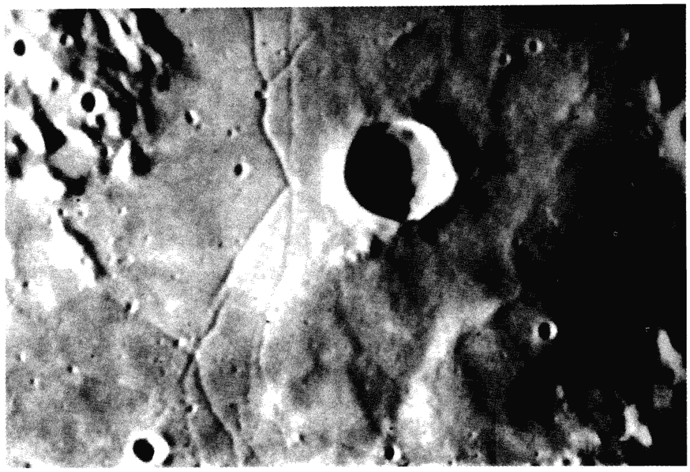


图 160　特里斯纳凯尔辐射纹

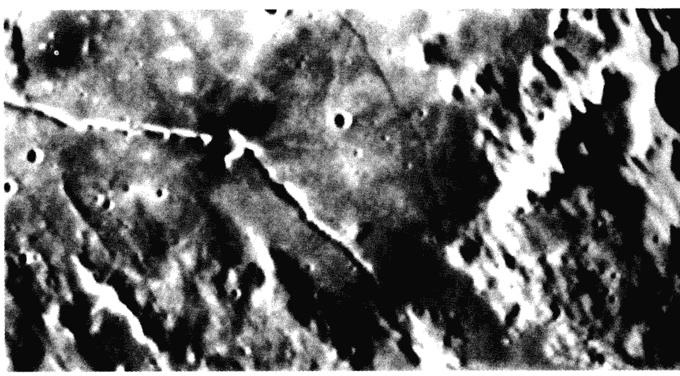


图 161　伊纪努斯辐射纹

图 162 表示湿海附近的大裂缝，它们形成类似同心的圆弧，宽达 2 千米，它们差不多完全被填塞了，特别是中间的一段。是什么力量在月面的陆上和海上耕犁，才造成这样的谷呢？

在别的区域里，我们还可以看见差不多是直线的谷。弗拉马里翁环形山的右下方（图 180）便有这样一道深谷，它好像把弗拉马里翁环形山截开了似的。

横断亚平宁山脉还有许多谷（图 158、172），方向是和山脉正交的，造成一些宽阔的山峡，但它们大部分已经被填塞了。一大群的大断层，好像网上的孔眼一般，出现在托勒密和阿尔查赫耳区域附近（图 156）。

读者在图 123 的中部看到屏障着平原的高大绝壁，不能不感觉惊异。那长 120 千米、高 500 米的绝壁，叫做直壁。

## 月面图和月球上的地名

现在我们来认识一下月球上各种各样的土地。为了识别这样复杂的月面图上的细节，自然需要一种命名法，而且还需要作为标志的点。地理学家对于辨识地方有三种方法：他可以用经度和纬度作为一个地方的坐标；可以把那个地方绘在一张图上；还可以说

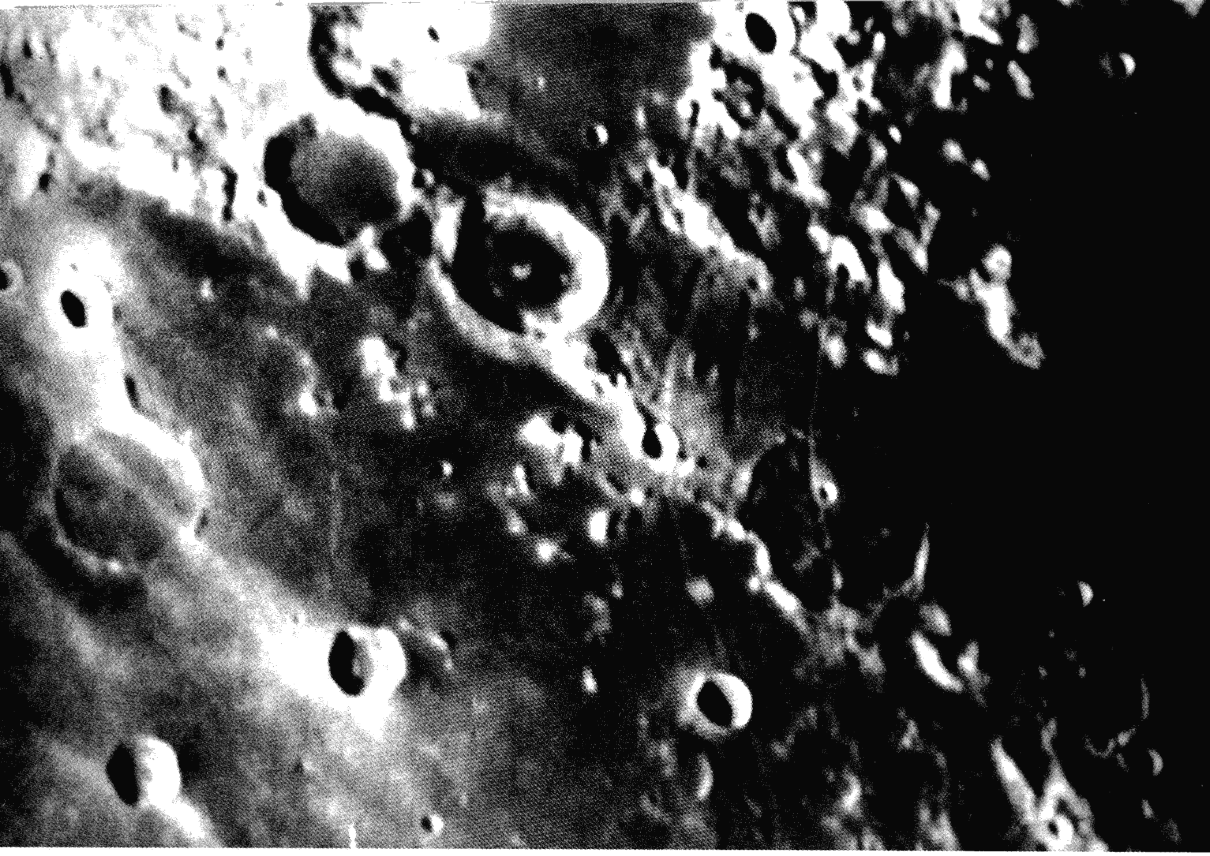


图 162　湿海的大裂缝

那地方距附近有名的地方有多远。月面学家也使用地理学家的方法。月球上也有一种经纬度的坐标系统，一些重要的地点便是用它们的经纬度标志在表册上面的。天文学家需要以这些坐标来研究月球的自转运动。卡西尼(Cassini)所发现的月亮运动的规律如下：

(1) 月亮绕轴自转，其轴的两极固定在月面上。这种运动是等速的，它的自转周期严格地等于月亮经天的恒星周期。

(2) 月亮的赤道和黄道相交，成 $1°32'$ 不变的角度(卡西尼的数值稍微大了一些)。

(3) 黄道的轴、月亮自转的轴和月亮公转轨道的轴，三条直线总是和一个平面平行。因为有这第三个规律，月亮的自转轴在 18 年零 7 个月内做成一个圆锥，这个圆锥的轴是和黄道面正交的。知道这个圆锥在每个时候的位置，便容易在月面上定出一种经纬的系统，去规定月面上任何一点的位置，像在地球上一样可靠。

月面图曾经绘过好几幅。第一幅是伽利略初用望远镜时所绘出的。后来绘月面图的有：法国的默郎(Claude Mellan，1636)、西班牙的郎格尔努斯(Langrenus，1645)、丹泽的赫维留(Hevelius，1647)、意大利的里希奥利(Riccioli，1650)和格里马尔迪(Grimaldi，1650)。巴黎天文台藏有卡西尼于 1671 年至 1679 年间所绘的以后被用来刻制成一幅直径 54 厘米的月面图。这幅图的铜版不幸于 19 世纪初被毁坏，直至 1791 年和 1802 年施罗特尔

(Schröter)刊布的月面图,始有更好的成就,其后又有比尔(Beer,1837)和马德勒(Mädler,1837)绘的月面图。施密特(Schmidt)于1874年完成的月面图,直径达1.80米,虽然绘得十分详细,但却不太明晰。

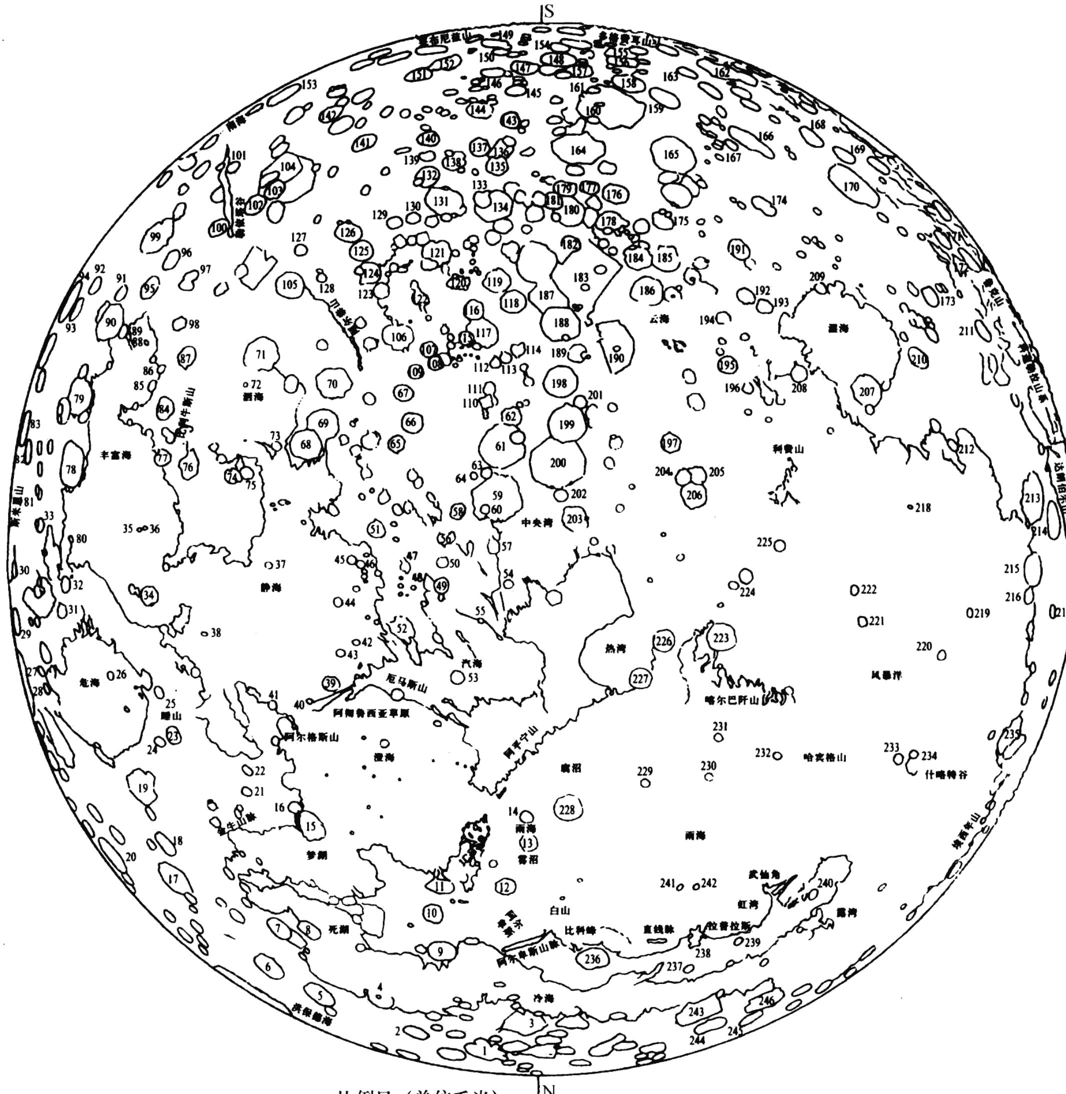
19世纪末,大家都承认用望远镜目视法去描绘月面图是不会再有改进的,而只会枉费精力。为了寻求月面可能发生的变化,只有用照相的办法才能获取不能辩驳的证据。阿拉戈对于尼埃普斯(Niepce)和达盖尔(Daguerre)的工作〔即照相术的发明。——译者注〕曾经说过:照相术将革新月面学,但是要拍得好到足以超过以前手绘的月面图的月亮照片还是有许多技术上的困难,这是需要解决的。从1894年开始,巴黎天文台的洛伊(Loewy)和皮伊瑟(Puiseux)照有很美丽的月亮图,两年后他们刊布了巨幅的《月亮摄影图》。这个伟大的制作超过了从前最好的绘画,直至几年前,它还是月面观测者的主要工具。

李奥企图做得更好一些。洛伊、皮伊瑟两人所用的仪器是装置在巴黎的肘形折射望远镜上的照相仪,其口径60厘米、焦距18米。李奥把同样的一个物镜装在日中峰。他详细研究照片上乳胶的性质,选出几种最适用的照片。另外,他改进了仪器上的导动设备,决定了像上应有的直径。他更耐心地等待最澄静的气候。因为这种种的准备,他所拍照片的精细程度比洛伊、皮伊瑟两人的都要高两倍。因照片上的乳胶颗粒更细,所以相片上的衬度增加了三倍。李奥最好的照片和肉眼观测的细节一样丰富。他已经收集了一部新摄影图的资料,但愿早日刊布出来〔随着宇宙航空事业的发展,近年来世界上已编制出版了几种很好的月面图,可供参考。——校者注〕。

在郎格尔努斯的图上,主要的地方都已给出了名称:如奥国海、公教峡、和平地、道德地、菲利普斯第四环形山、路易十四环形山等。现在通用的名称是从里希奥利开始的。他和郎格尔努斯一样,是任意给海取名的,如危海、澄海、湿海、梦湖、雨海、静海、冷海、风暴洋、露湾、热湾;山脉一概借用地球上的山脉的名称,如阿尔卑斯、亚平宁、比利牛斯、喀尔巴阡、高加索、阿尔泰等。至于环形山和坑穴,则随里希奥利的高兴,以古今天文学家和哲学家的名字命名。举其重要的来说,有柏拉图、亚里士多德、阿利斯塔克、阿基米德、埃拉托斯特尼、喜帕恰斯、托勒密、哥白尼、第谷、开普勒、伽桑狄(Gassendi)等。300年以来又在这些姓名之后加上了好些,如笛卡儿、卡西尼、伯努利(Bernoulli)、克雷洛(Clairaut)、拉朗德、拉格朗日(Lagrange)、拉普拉斯、阿拉戈、雅各比(Jacobi)、爱里(Airy)、柯西(Cauchy)、让桑(Janssen)等。当然,推进月面学的天文学家也没有被人遗忘,如郎格尔努斯、里希奥利、格里马尔迪、施罗特尔、赫歇尔、比尔、马德勒、内史密斯(Nasmyth)、皮伊

## 月面上的地名

1 Meton 默东
2 Arnold 阿尔诺德
3 W. C. Bond 邦德
4 Gardner 加德纳
5 De la Rue 德·拉鲁
6 Endymion 恩迪米昂
7 Atlas 阿特拉斯
8 Hereule 赫克里斯
9 Aristote 亚里士多德
10 Eudoxe 欧多克斯
11 Alexandre 亚历山大
12 Cassini 卡西尼
13 Aristillus 阿里斯提吕斯
14 Autolycus 奥托吕科斯
15 Posidonius 波西当尼斯
16 Chacornac 恰科纳克
17 Messala 默萨拉
18 Geminus 杰米纽斯
19 Cleomede 克利沃默德
20 Gauss 高斯
21 Stephanides 斯迪芬奈兹
22 Roemer 罗默
23 Macrobe 马克罗布
24 Tisserand 蒂斯朗
25 Proclus 普罗克吕斯
26 Picard 皮卡德
27 Condorcet 孔多尔塞
28 Hansen 汉森
29 Neper 讷珀
30 Schubert 舒伯特
31 Firmicus 弗米卡斯
32 Apollonius 阿波罗尼
33 Mac Laurin 马克洛林
34 Toruntius 多朗提斯
35 Messier 梅西叶
36 Pickering 皮克林
37 Maskelyne 马斯基林
38 Cauchy 科西
39 Pline 普林尼
40 Dawes 道韦斯
41 Vitruve 维特留夫
42 Maclear 马克利尔
43 Ross 罗斯
44 Arago 阿拉戈
45 Sabine 萨比恩
46 Ritter 里特
47 D'Arrest 达雷斯特
48 Tempel 顿泊尔
49 Agrippa 阿格里巴
50 Godin 果丹
51 Delambre 德朗布尔
52 Jules Cesar 儒略·恺撒
53 Manilius 马尼吕斯
54 Triesnecker 特里斯纳凯尔
55 Hyginus 伊纪努斯
56 Lade 拉德
57 Rheticus 雷蒂库斯
58 Saunder 叟德尔
59 Hipparque 喜帕恰斯
60 Horrocks 霍罗克斯
61 Albategnius 阿巴特纽斯
62 Parrot 帕罗特
63 Halley 哈雷
64 Hind 欣德
65 Descartes 笛卡儿
66 Abulfeda 阿布费达
67 Almanon 阿尔马农
68 Theophile 特奥菲尔
69 Cyrille 西里尔
70 Catherine 嘉德琳
71 Fracastor 弗腊卡斯多尔
72 Ross 罗斯
73 Madler 马德勒尔
74 Capella 卡珀拉
75 Isidore 伊西多尔
76 Gutenberg 古吞堡
77 Goclenius 荀克冷纽斯
78 Langrenus 郎格尔努斯
79 Vendelin 文德林
80 Webb 韦布
81 Kastner 卡斯特内尔
82 Lapeyrouse 拉佩鲁斯
83 Ansgarius 昂斯加律斯
84 Colomb 哥伦布
85 Cook 库克
86 Monge 蒙日
87 Santbeck 散特贝克
88 Biot 毕奥
89 Wrottesley 罗特斯勒
90 Petavius 佩塔威斯
91 Hase 哈斯
92 Legendre 勒让德尔
93 Phillips 菲利普斯
94 Humboldt 洪堡
95 Snellius 斯内拉斯
96 Stevin 斯特芬
97 Reichenbach 雷申巴赫
98 Borda 波达
99 Furnerius 弗内留斯
100 Rheita 雷达
101 Mallet 马拉
102 Metius 梅提斯
103 Fabricius 法布里夏斯
104 Janssen 让桑
105 Piccolomini 皮科洛米尼
106 Sacrobosco 萨克罗博斯科
107 Azophi 阿佐菲
108 Abenezra 阿邦内兹腊
109 Geber 贾贝尔
110 Argelander 阿格兰德
111 Airy 爱里
112 Donati 多纳蒂
113 Faye 法伊
114 Delaunay 德洛内
115 Playfair 普勒弗尔
116 Apian 阿皮安
117 Krusenstern 克鲁辛斯特恩
118 Werner 韦内尔
119 Aliacensis 阿里辛西斯
120 Poisson 普瓦松
121 Gemma Frisius 杰马·弗里修斯
122 Pontanus 蓬塔努斯
123 Walter 瓦特尔
124 Zagut 扎克特
125 Rabbi Levy 腊拜·勒维
126 Riccius 里絮斯
127 Stiborius 斯提博腊斯
128 Rothmann 罗特曼
129 Busching 布申
130 Buch 布赫
131 Maurolycus 莫罗利卡斯
132 Barocius 巴罗夏斯
133 Faraday 法拉第
134 Stoefler 斯托弗勒尔
135 Licetus 利塞塔斯
136 Heraclite 赫拉克利德
137 Cuvier 居维叶
138 Clairaut 克雷洛
139 Breislak 布赖斯拉克
140 Bacon 培根
141 Pitiscus 皮提斯卡斯
142 Rosenberger 罗桑贝惹
143 Lilius 利吕斯
144 Jacobi 雅各比
145 Zach 察赫
146 Pentland 彭特兰德
147 Curtius 柯蒂斯
148 Moret 莫雷特
149 Schomberger 顺拜格尔
150 Simpelius 辛普路斯
151 Mutus 穆土斯
152 Manzinus 曼济纳斯
153 Pontecoulant 蓬特库郎
154 Short 雪特
155 Casatus 卡萨屠斯
156 Klaproth 克拉普罗特
157 Gruemberger 格鲁姆贝格
158 Blancanus 布兰卡纳斯
159 Scheiner 席奈尔
160 Clavius 克拉维斯
161 Rutherfurd 卢塞福尔德
162 Bailly 贝利
163 Kircher 克彻尔
164 Maginus 马纪努斯
165 Longomontanus 龙果蒙塔努斯
166 Schiller 席勒
167 Bayer 巴贝尔
168 Phocyclide 福西克利德
169 Wargentin 瓦根廷
170 Schickard 席卡尔德
171 Piazzi 皮亚齐
172 Lagrange 拉格朗日
173 Viete 维埃特
174 Hainzel 亨泽尔
175 Heinsius 亨萨斯
176 Tycho 第谷
177 Pictet 皮克太特
178 Sasseride 扎西里德
179 Saussure 索絮尔
180 Orontius 沃朗塔斯
181 Huggins 哈金斯
182 Lexell 勒格泽尔
183 Deslandres 德朗达尔
184 Gauricus 果里卡斯
185 Wurzelbauer 维泽包尔
186 Pitatus 皮塔屠斯
187 Regiomontanus 雷乔蒙塔努斯
188 Purbach 普尔巴赫
189 Thebit 锡比特
190 Birt 伯尔特
191 Capuanus 卡普纳斯
192 Mercator 梅卡多尔
193 Campanus 康庞努斯
194 Kies 基斯
195 Bouillaud 布约




比例尺（单位千米）：

0 100 200 300 400 500 1 000 千米

图 163 月面图

196 Lubiniezki 吕班尼兹基
197 Guericke 格里克
198 Srzachel 阿尔扎彻尔
199 Alphonse 阿方索
200 Ptolemee 托勒密
201 Alpetragius 阿普特腊纪斯
202 Herschel 赫歇尔
203 Flammarion 弗拉马里翁
204 Parry 帕里
205 Bonpland 博普郎德
206 Fra Mauro 弗腊·莫罗
207 Gassendi 伽桑狄
208 Agatharchide 阿加撒契德
209 Vittelo 维特洛
210 Mersenne 梅森
211 Byrge 比尔季
212 Hansteen 汉斯特恩
213 Grimaldi 格里马尔迪
214 Riccioli 里希奥利
215 Hevelius 赫维留
216 Cavalerius 卡瓦勒里斯
217 Olbers 奥尔伯斯
218 Flamsteed 弗拉姆斯蒂德
219 Reiner 雷内尔
220 Marius 马里乌斯
221 Kepler 开普勒
222 Encke 恩克
223 Copernic 哥白尼
224 Reinhold 伦霍尔德
225 Landsberg 兰德斯堡
226 Stadius 斯塔杜斯
227 Eratosthene 埃拉托斯特尼
228 Archimede 亚儿默德
229 Timocharis 提莫恰里斯
230 Lambert 朗伯
231 Pytheas 皮特阿斯
232 Euler 欧拉
233 Aristarque 阿利斯塔克
234 Herodote 希罗多德
235 Otto Struve 奥托·斯特鲁维
236 Platon 柏拉图
237 La Condamine 拉·孔达米恩
238 Maupertuis 莫佩屠斯
239 Bianchini 比昂希尼
240 Mairan 梅兰
241 Le Verrier 勒威耶
242 Helicon 黑利康
243 John Herschel 约翰·赫歇尔
244 Anaximandre 阿那克西曼德
245 Pythagore 毕达哥拉斯
246 Babbage 巴巴日



图 164　阿利斯塔克和希罗多德环形山区
可和图 165 比较。

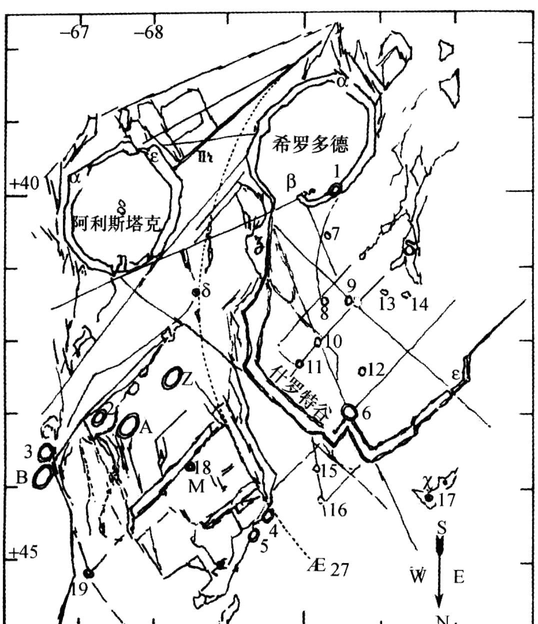



图 165　同一区域的地形图
图中的命名是按国际天文协会的规定。

瑟、弗拉马里翁、古达尔克(Goodacre)等。将来的天文学家将会感到好地方已经被前人占去了。

这种命名法显然是必需的,因为现在月面上有名称的地方,数目之多已经超出我们的记忆了。国际天文协会特别组织一个委员会来修订这些名词,刊布了一个月面地名表,是研究月面学的人所必需的参考资料。表内仅是大的地方才有名称,只要它们足以供附近小地方的定位便够了。例如图 164 里两个大的环形山的名称是阿利斯塔克和希罗多德,那么附近的凹地、坑穴、小孔、低地,只需按照它们的重要性顺次附加拉丁大字母来表示,如阿利斯塔克 A、阿利斯塔克 B 就行了。至于山岭、高地、高原、山脉等则附以希腊小字母,如希罗多德 α、希罗多德 β 等。辐射纹则附以罗马数字,再加上 r,例如阿利斯塔克上面有一辐射纹便用Ⅱr 表示。至于国际月面地名表中所不载的地方,观测者更可以用阿拉伯数字 1、2、3……代表它们〔苏联科学院在 1960 年出版了世界上第一部《月球背面图册》,图中把月球背面的 700 多处都编了号,有些还定了名称。——校者注〕。

## ◀ 月面土地的性质 ▶

既然望远镜能帮助我们认识月面上大的结构，如山、环形山和谷，那么我们只需要一座好的高倍率放大的望远镜便可以识别它们。另外，根据月光的物理性质，天文学家还可以判断月面土地的微观情况，换句话说，就像是在显微镜下观测出土壤的结构。

我们把光线当做在传播中周期性的振动。在光线中的每一点，振动是和传播的方向正交的，而且在一般的情况下，各个方向上都有这样的振动，至少在所谓天然光线里是这样的。当天然光线照在某个东西上，譬如照在月亮的表面上，这束光线的一部分漫射到各个方向上。可是在这条新途径上的光线，振动的性质发生了改变，这种振动不再是绕着光线的各个方向都有，因为漫射仅容许在几个有利的方向上才有振动。漫射的光线已经不是天然光线，物理学家说它受了偏振；说确切一些，漫射光线是天然光线和一些偏振光线的混合光线。这些偏振光的振动方向叫做偏振向。

偏振光的成分和偏振向是与漫射面的性质和漫射的角度有关系的。物理学家利用偏振计研究各种物质的漫射性，所得到的数据便是该物质的特征。天文学家用装上偏振仪的望远镜去观测月亮，测定它表面上各个区域漫射光的偏振率。这样持续地测定了一个月，便研究出月亮在各位相或者各个漫射角上的偏振情况。李奥就是这样绘出了月亮的偏振曲线（图 166）。横坐标表示位相角（在满月时为零），纵坐标表示偏振光的成分。当光线在经过日和月的视向面的正交方向振动时，这成分算是正的；当光线在视向面上振动时，这成分算是负的。李奥所设计的偏振计非常灵敏，即使偏振光仅有天然光的千分之一，也可以测出来。

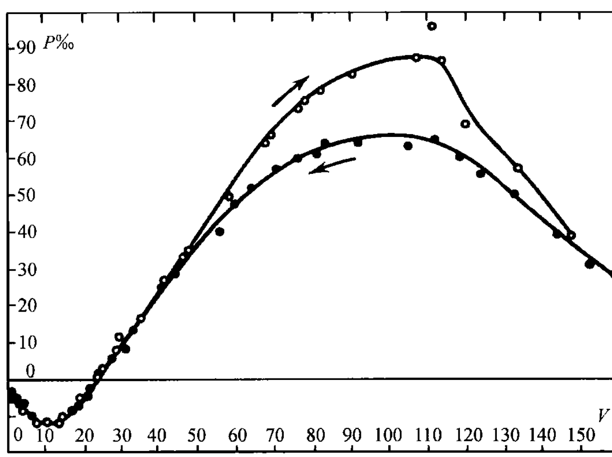


图 166　月光的偏振曲线

李奥绘出月亮的偏振曲线之后，拿去和各种各样的地质标本的偏振曲线加以比较（这

些标本的漫射性质经李奥在实验室里加以测定），由此，他得出一个结论：月亮表面盖有一层灰，那是很细的粒子，很能吸光，而且不透明，好像地上的火山灰那样。图 167 表示这样的灰在显微镜下的情况，这也就是用放大镜去看我们卫星表面的情况。

别的方法也证明了这个结果，特别是我们说过的对月亮光度的观测。对月亮的温度的测定，更要给我们另外一种新的证明。

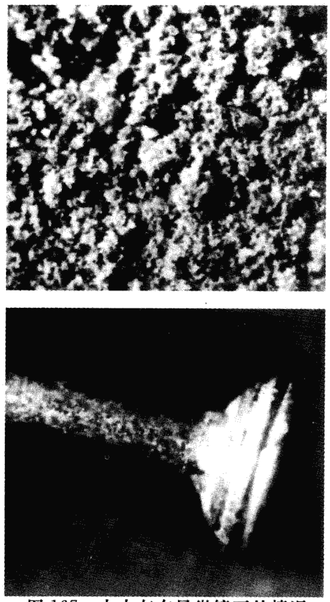


图 167　火山灰在显微镜下的情况

火山灰和月面的土壤具有相同的性质，下面是一个针头在同一尺度下的情况。

## 月面的温度

在望远镜里，月亮好像是一个冰冻的世界，但这是一种幻觉！天文学家曾测过月面的温度：在赤道附近被日光垂直照射的地方，温度高达 100℃；只是当太阳落到月球的地平线以下的时候，温度才骤然降低，夜晚不见日光的一面，温度下降到－150℃。

这些温度是月面土壤上的温度，因为那里没有大气。放在土上的温度计所表示的温度，差不多只靠温度计管上的颜色来显示，如果涂黑，温度便升得高，如果敷上白色，它便表示较冷。以上所说温度的数值，是指温度计放在土内 0.5 毫米深处的温度。

天文学家并不用温度计而是用分析月亮的漫射光的方法去测得这样的温度的。光线只是温度的一种表现。要了解这种表现，首先必须研究光的能量在光谱内各部分的分布。光源愈冷，它所发出的辐射波愈长。从月亮而来的能量有两个来源：一个是由太阳而来，再经过月面的漫射，因为来源很热，所以它的辐射能量大部分集中在青色附近的可见光谱里；另外一个来源是月球自身，因为温度很低，因此能量集中在红外区，波长约 10 微米（即 0.01 毫米）的附近。利用滤光器就能相当容易地分开这两种来源不同的辐射，再用一套很灵敏的温差电偶去测量它们。这样把测量所得的结果加以计算，便可求得月面的温度。

有人曾用收集能量最多的威尔逊山上的口径为 2.50 米的大望远镜做过这样的测量（图 168）。在真空管内装置有 6 对温差电偶，月亮的辐射能量照在它们上面，产生一点很弱的电流，然后加以放大，再用电流计去测量。这是一种很精细的实验，帕蒂特（Pettit）和尼科尔森（Nicholson）曾经成功地做了这个实验，使我们了解了如上面所谈到的月亮的

温度。

利用更长的可以进入土里的辐射波，我们可以测定月面较深处的温度。这一次需使用的不是光波而是射电波，观测时需用一座口径大且焦距很短的一种射电望远镜。射电望远镜的镜面并不需要像光学望远镜那样考究，只要把金属丝织成抛物面形式的帘幕，便是一座射电望远镜的好镜面。测量从月球来的波长为 1.25 厘米的辐射，射电望远镜的直径是 1.10 米。在它的焦点上并不安装温差电偶，而是放上一根小的天线和放大器与电流计相连接。这种仪器是由澳洲的射电天文学家皮丁顿(Piddington)和米内特(Minnett)安装成功的，于 1948 年瞄准月亮。他们求得月亮的土壤温度是从－75℃到 30℃，这种变化随位相而变化，但是有几天的迟缓。反之，帕蒂特和尼科尔森对于红外辐射所观测到的从－150℃到 100℃的变化却是和位相的变化完全相合的。

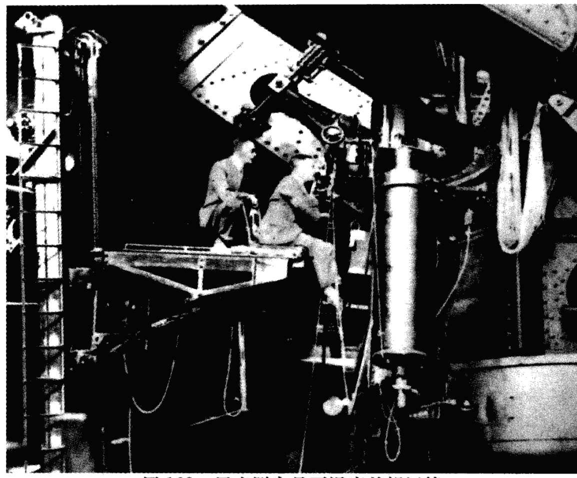


图 168 用来测定月面温度的望远镜

这种差异是容易被解释的：射电波比红外波容易透过组成月面土壤的物质，所以用射电波所求得的温度和用红外波所求得的温度相比，前者是属于月面下比较深的地方的温度。因为热量在月球内部遭受阻挡从而传播缓慢，所以变化很小且迟缓。从这一系列的实验所得的数据是可以和地上岩石的性质相符合的。

由这个方法我们推出月面漫射层不是由石块而是由均匀、细小的粉末所组成的。这些粉末只有几毫米那样厚，它们是不是火山灰呢？

这些结论在月食时又得到一种印证。当日光骤然不照在月面上时，月亮立即变冷。帕蒂特和尼科尔森于 1927 年 6 月 14 日月食以及帕蒂特于 1939 年 10 月 28 日月食时，测得月面的温度迅速地降低到－90℃。所以应该假设，组成月面土壤的物质具有极小的热容量和弱的传导性。这正是真空管里很细的不透明的粒子组成的粉末所表现出来的情况。

## 月亮的大气

许多年来大家都以为月亮没有大气。日食的时候，月亮的边缘在明亮的日轮上显得

十分清晰，一点半影都没有。一颗星被月亮掩蔽的时候，它一下就看不见了，而在消逝前，对于它附近的星并不表现有丝毫的移动。即使月亮的大气只有地球的大气的 0.001 那样多，也可以把星的位置移动几秒。月亮里是不是一点儿大气都没有呢？在地球上的大气，每一立方厘米里有空气分子约 $3\times10^{19}$ 个。因为月亮的质量少，所以它不会吸引住太多的分子，但是月亮既然和星际空间接触，那就很难想象它不经过一个逐渐变化的过程。从月面的下层一定有气放出，虽然分量很少，但是最重的分子，不会像别的分子那样迅速地弥散到空间里去，因重力的吸引它们可能聚集在月球的表面上。因此天文学家虽然早已知道月亮的大气是异常的稀薄，而却要努力去探寻它究竟有多少。

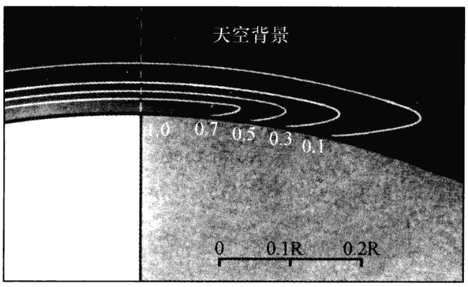



图 169　人们可能在月角外观测到光亮（在上弦时，如果月面存在着大气）

对于这种性质的问题，只能使用极细致的分析方法。罗素（H. N. Russell）建议观测娥眉月角处月亮大气里的曙暮辉（图 169）。事实上这是一种昏光，因为对于“月中人”来说，在日落以后，这种微弱的光辉还照着那里的天空。假设月亮正在上弦，则在望远镜里看来，明亮部分在左边，黑暗部分在右边，而中间是明暗分界线。按照这种理论在天的背景上绘出昏光的等强线。如果设法用帘幕将月亮明亮的部分遮住，那么只需月面大气密度是地面大气密度的十万分之一，我们就一定可以看见这种昏光。但是这样的观测没有得到结果，所以可以断言：月亮上若有大气，一定比这样小的密度还要小些。

1948 年李奥和多尔菲斯（Dollfus）又从事这个细致的研究，观测的条件比以前优越得多，从而增加了灵敏的程度。虽然罗素在望远镜的视场里使用帘幕遮住炫目的光辉，可是别的不利的效应仍然妨碍观测。首先，地球低层大气里的灰尘和粒子因漫射光线使视场里有一种普遍的微弱的亮光，所以月角附近天空的背景不是漆黑的，这个幕罩就掩盖了我们所要寻找的月亮上的昏光。其次，照在物镜上的月光被光阑以及被镜面的灰尘和细小条纹所漫射和衍射。这些寄生的光比大气里漫射的光还更妨碍观测。

这两位观测者在日中峰 3 000 米高处得到了很澄静的大气。至于由仪器而来的有害的光线，他们使用日冕仪来消除它。这架日冕仪是李奥发明的，它是用于非全食时观测日冕的。使用安装在日中峰天文台的日冕仪去观测娥眉月角，如果在月面的大气密度是地面的亿分之一，当会查出月亮的大气。可见，这种方法比罗素的方法要灵敏 1 000 倍。但

即使经过长时间的拍照，这两位观测者仍然查不出月球上的大气！

1950年多尔菲斯在日冕仪上再装上一个偏振计，再度进行研究。如果月面有大气，月角的昏光就应该偏振化。他拍照了两个多小时，又将以上方法的灵敏度提高了10倍，可是照片上并未显示丝毫偏振的痕迹！

同时柯伊伯想要从满月边沿的光谱里去寻找亚硫酸酐($SO_2$)的吸收谱带。虽然这种方法和上面的方法一样灵敏，可是他也一样失败了！

这些精细的实验已经证明，月亮如果有大气的话，密度当是地球上大气的十亿分之一。这是1毫克和1 000千克之比。如果承认这样小的一个比值，那么月亮的大气每一立方厘米仍含300亿个分子。这问题现在还是悬而未决的，如果将来有人发明一种更灵敏的方法，也许他终于会满意地发现月面的大气〔苏联天文学家利普斯基曾经用极精细的偏振观测发现月亮上有微弱的大气。月亮大气的总质量是地球大气质量的十万分之一（见库利考夫斯基著《天文爱好者手册》，科学出版社1956年版，26页）。又据近年来射电天文学的观测资料，说明月亮上的大气密度只是地球上大气密度的二十亿分之一（见南京大学天文系编《天文学教程》上册，177页）。——校者注〕！

## ◀ 月面结构的起源和演化 ▶

读者由直接观测或者通过照片认识了我们的卫星，天文学家用物理方法分析它的辐射而认识了它。可是读者还不会满意，因为他还想知道月面上那些和地面上很不相同的各种各样的结构的起源。对此问题，天文学家只有凭直觉来推论，这样，常常被人难住。

月面盖着灰尘。这种灰尘是从哪里来的？又是怎样形成的？有人说，来自火山；有人说，来自陨星，因为100万年里落到月面的陨星的物质足以铺成1毫米厚的一层。可是这种灰尘的性质各处有差异：在海里是暗黑的，在山上是明亮的，在环形山底是深黑的，而在墙垣上却又是炫目的明亮。陨星的微尘绝不会有这样的表现，火山灰也不会造成这样不同的现象。早期的月面学家相信月面结构是由于火山的作用，但今天的天文学家差不多一致怀疑这个看法。我们应该假定这些灰尘性的物质，主要是由月球表面岩石的崩解而来。

这种崩解可以由小陨星的坠落而引起，但是最重要的作用应当是由于温度的变化。太阳升起，土地骤然变热，因为没有大气，土地又特别吸热，于是温度增高很多。岩石的颜色不同，温度的增高便不一样，因膨胀不相同，岩石便会崩解。起初是受斜向的照射，使整块岩石的一边比另一边更热，这也就加速了它的分裂。分裂出来的小块再行分裂，而且这

种过程愈来愈快,因为这些岩石的表面积比它们的体积要变小得慢些。可是当这些岩块变小到透光的时候,这种过程也就变慢,因为在它们整个物体上是均匀地加热了。据对偏振的观测表明,这些物质很不透明,分裂还在继续进行,一直到颗粒的直径只有几分之一毫米那样的细微为止。这些物质分布在表面,像灰尘那样在月面上铺上一层。在阳光下,它们形成一种很不导热的帘幕;在真空里,每一颗粒和旁边的颗粒仅有一点互相接触。相对于月亮上的"地质年代"来说,这种过程的经历是很迅速的。一切新的结构也就很快地被这种灰尘性的物质所覆盖,例如在直壁的陡坡上就能找到这样的证据。灰尘之所以能够粘在那里,可以解释为是一种静电或者光电现象,更因为月面上的引力是微弱的缘故。

当一个环形山形成的时候(我们就要谈到它是怎样形成的),灰尘向各方喷射。它们在真空里走的是漫长的抛物线的路径,因为月面的重力只有地面上的 1/6,所以这些灰尘被喷射得相当远。它们铺在月面上成丝线的细长形态,造成环形山周围的辐射纹。近期形成的第谷和哥白尼两座环形山顶上的光圈,在小型望远镜里可以看见。它们的辐射纹洁白美观,并且拖得很长。形成这些辐射纹的物质,被射出的速度还不到每秒 1 千米,这是真空里可能容许的数值。

侵蚀地面的主要因素是水和大气,这在月亮上虽然完全没有,可是我们的卫星仍然在演变着,它所受的作用是地质学家所不知道的。毁坏月面结构的物理因素之所以在地面没有起到显著的影响,只是因为在地面上,空气和水起了主要的作用。

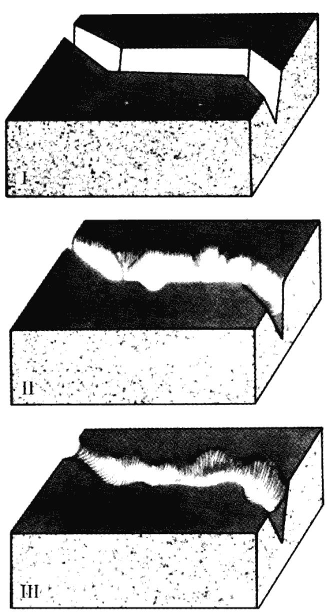


图 170 月面裂缝的演变

起初,月球表面有逐渐生成的尘土。这些颗粒状的尘土渗透到断层里去填充堆集,如像我们在特里斯纳凯尔辐射纹和施罗特尔谷里所看见的那样。图 170 里的三个图表示这种演化的过程。热的效果或小陨星的冲击使得裂隙的直壁倒塌,脊棱变成圆形,尘土填塞凹槽,逐渐形成浅的直线式的沟道。许多月面学者在这些沟道里看出一系列的坑穴,这些小坑穴可能偶然形成在断层的延长线上或者裂隙里面,按照热的侵蚀作用完全可以解释深的裂隙如何转变为一系列的圆形的低地。在阿尔马农和阿布费达两座环形山之间的有名的沟道是很显著的(图 171)。

除这种崩裂和填塞的作用之外，还须加上一种因塑性而来的缓慢变形。组成月壳外层的物质像松香那样具有黏性，它们变形缓慢，甚至需要地质年代那样长的时间，但这却解释了为什么古代的结构差不多完全消逝了而仅留下一点儿痕迹。这种效应和灰化效应相结合，就足以说明高耸突出的结构为什么都平伏化了，老年山为什么也都慢慢地被削平了。

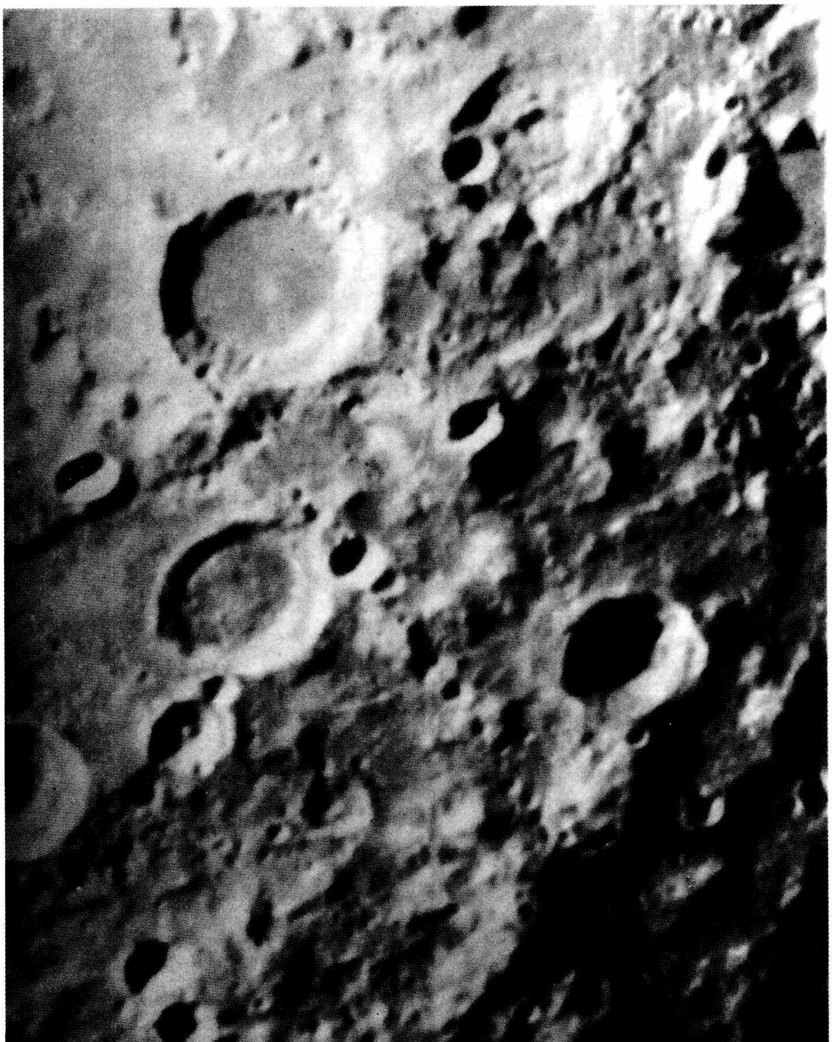


图 171　连接环形山阿尔马农和阿布费达之间的辐射纹

环形山也会变老。图173里的环形山，年龄大有差别。嘉德琳墙垣(图173的上方)已经成了一个坡度较缓的斜面，一切棱角都磨圆了。图中部的瑟里尔生成要后一些，有些地方的墙垣仍露出锋利的棱角，中间还有一个小山的遗迹。再下面的美丽的环形山捷奥菲尔表现少年期的一切特征，它还没有被侵蚀或者沙掩所改变。



图172　雨海、柏拉图环形山、阿尔卑斯山谷(中左方)和月球的北极区



图173 形成时代不同的三个环形山：瑟里尔、嘉德琳和捷奥菲尔

图 174 里的大圆场显然是很古老的,这可由它边沿上有那么多的环形山和坑穴而看出。这个圆场名叫克拉维斯,直径达 220 千米。图 175 里的哥白尼环形山和它相反,是月面上最年轻的结构,这里棱脊以及从墙顶到圆场的台阶都很完整。

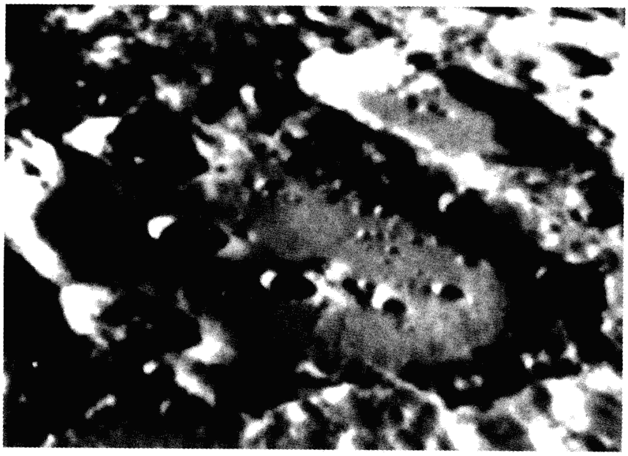


图 174 很大而古老的克拉维斯环形山
其中散布有小的幼年的环形山或坑穴。

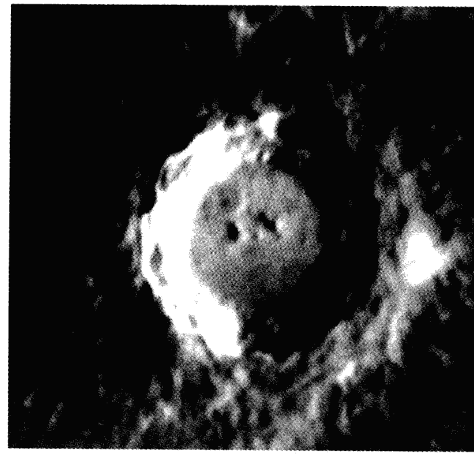


图 175 保存得很完整的一个大环形山
——哥白尼环形山

月面结构的基本特征已经体现在这些照片上。环形山是月壳上的下陷部分,有时可能很深。人们常把它们比拟做地上的火山喷口,那是不恰当的。我们的火山是喷出物所堆成的锥体,上面有高峰,峰顶有一个不大的坑穴。哥白尼环形山的外形不是这样的,它是缓缓地从它附近升高。将来的星际航行者如从它的墙垣上飞过,将会感到他在一个直径数千里、四围闭合的盆地上面。它里面圆形的被人错叫做中心小山的突出处,并不算高,而是比环形山周围的平原要低得多。

如果我们再研究一下围着环形山的海和陆,它们演化的迹象更是明显。月面的土壤好像是由两种物质组成的。海是一种较暗的具有或者说曾经具有过相当塑性的物质,而大陆是较凝固的亮的物质。试看一下虹湾和赫拉克利德海峡(图 176),它们好像因缓慢的垂直的运动而把高度改变了,好像黏性液体的物质铺在陆地的低下部分而把它们浸没了似的。

图 177 表示这种机械作用,说明下沉的陆块被海的塑性物质所覆盖的情况。在本章的几张照片上,读者不难认出部分沉没的古代环形山。一般说来,在海的表面上很少出现坑穴,或者出现近代形成的环形山。

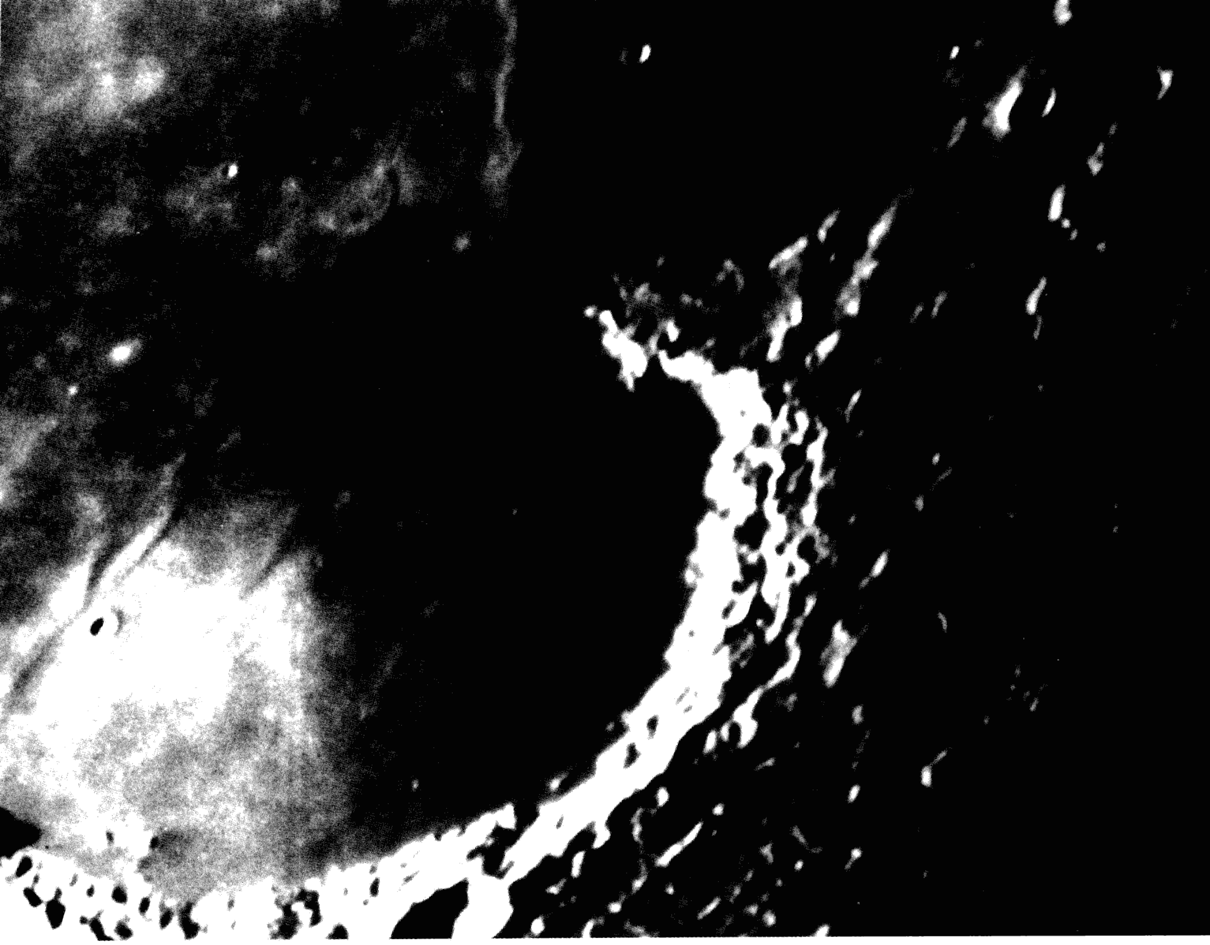


图 176　虹湾和赫拉克利德海峡

## ◂ 坑穴和环形山的起源 ▸

自望远镜发明以来，人们以好奇、求知的心理观察了月面的坑穴和环形山，但它们至今仍然是一个疑谜。现在我们以为研究宇宙已经达到最遥远的河外星系，可是近在咫尺的星球就把我们的头脑弄得糊涂。解释这个问题的假设并不少：火山说、旋涡说、渗出说、膨胀说、陨星碰撞说；这一切假说都曾被人提出过，而且还有人加以有力的维护。

在这些假说里，唯有陨星碰撞说最受得住理智的非难，在它主要的理论上，至今还没有什么破绽。当一大块固体物质，以陨星的方式撞着月面时，它骤然被挡住。它坠落的速度至少每秒 15 千米。它所具有的动能忽然变成热能，使得这块物质本身和它碰着的东西温度升高，以致达到像太阳的温度那样高，于是，它就立刻挥发，造成一个轰轰烈烈的爆炸，使得大量的固体物质被抛射到远方去。这样在爆发处便造成一个坑穴，可能比原来的陨星的范围还大得多。如果这个解释是正确的，那么墙垣里的体积应该等于爆炸时所陷

下去的部分，就少年期的还没有被侵蚀的坑穴来说，的确是这样的。由飞机上扔下的巨型炸弹，在地面上所造成的坑穴和月面上的坑穴十分相像。从空中拍摄被轰炸过的战场所得的照片和本章里的月面图并没有多大区别。好像自然为我们做了一个规模更要宏伟的实验。事实上，在地球上也有一些大坑穴，它们来源于陨星的碰撞，这是无可怀疑的。最完善的一个是美国亚利桑那州（Arizona）的陨星坑。它的直径是 1 200 米，墙垣比它所围绕的坑底高 40 米，坑底是陨星的铁质碎片所组成的，这就清楚地表明了这片坑穴是怎样形成的。从月亮上用我们的望远镜去看这个深坑，就和我们在这里看月亮上的小环形山一样。但是如果撞成这个坑穴的陨星落到月球上去，那么它所产生的后果必定更要大得多，因为月球上没有大气，这一大块物质在碰撞月面以前，既不会受到阻止，也不会部分挥发，而且又因月球的重力微弱，会使更多的物质因爆炸而被抛射到更广大的范围去。

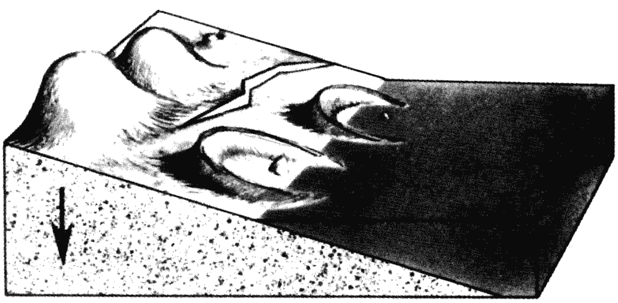


图 177　环形山被海的塑性物质所侵袭

我们立刻会想到一个问题：如果环形山是由陨星的坠落和爆炸形成的，那么，它们为什么在月面上是那样多，而在地面上又是这样少呢？我们认为，这是因为地球一向被一层稠密的大气包围着，形成一种有效的保护层，因此，较大块的陨星常在没有落地以前就在空中爆炸。另外，地球上的侵蚀现象比月球上更要厉害些，这样轰炸成的遗迹转眼就被湮没了。

地球平均每 200 年接待一个大的陨星，它们大半都落在海洋里。如果我们计算了月面和地面的比例，而且考虑到月球的另一面是我们所看不见的，于是我们可以算出，月球上平均每 6 000 年可以形成一座环形山。假设在 1 亿年前形成的古代环形山已经被侵蚀或者被湮没了，那么在月面上还会有可以看见的大小不同的环形山或者坑穴 1.7 万个。虽然洛伊和皮伊瑟的月面摄影图上没有这样多，但是因观测方法的进步，时常有新的被发现。这个估计的数字，是现今可以查出的环形山的总数，也是一个合理的数字。

更能抵御毁坏因素的大环形山比小坑穴的数目要多一些。环形山在陆上最多，它们的分布好像是偶然的，其中许多是很古老的。在近代的环形山顶上还有光环和辐射纹。

小坑穴差不多都是近代的，这可由它们完整的情况看出，很古老的小坑穴极少看见。小坑穴在月面上的分布比大环形山更均匀，有时甚至在古老的环形山的墙垣或者山脉上

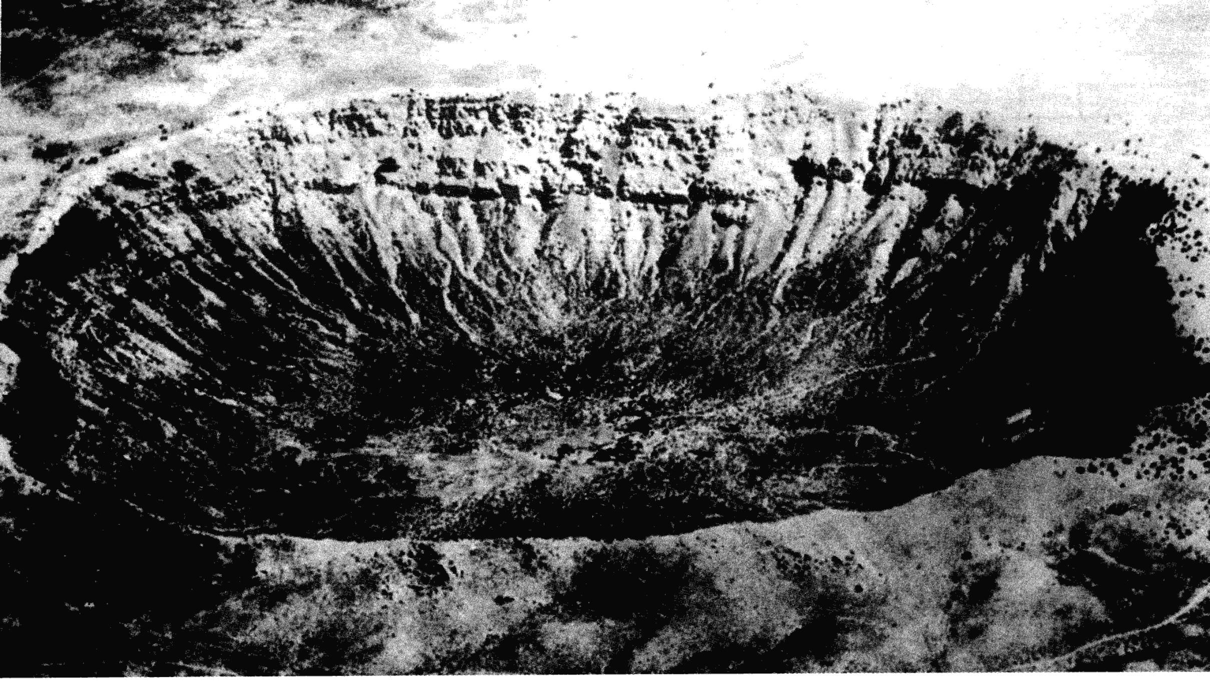


图 178　陨星坑(在美国的亚利桑那州)

面,这说明陨星下落是偶然的。小坑穴在海里不及陆上那样多,这也许因为海底的土壤有可塑性,加速了它们的消逝。即使月面没有环形山和坑穴,地势仍是很崎岖的,还有山、海、谷和像直壁那样的悬岩。要解释这些现象,只好把地质学上的问题搬到月球上去。也像对于地球一样,我们假设月球内部是同心层的结构,密度愈向外层愈是稀薄。最轻的表面层因辐射而先冷却凝固成固体,它是一个黏结在一起的比较薄的壳,浮在有可塑性的核心上面。

因为收缩和压缩的作用,月亮表层发生褶皱和破裂,造成这些现象的详细机制目前还不太清楚。我们应该注意,不要把地球上的情形硬搬到月球上去,因为这两个球冷却的经过是很不相同的:一个周围有大气,且一部分被水覆盖着,这两个球的密度也不相同;另外,地球上的重力是月球上的 6 倍。因为有这一些差异,我们应该假定这两个世界的演化是不相同的。

## ◂ 月球上的变化 ▸

月亮在望远镜里像是一座冰冻了的世界。可是那里既没有大气又没有水,更没有变化莫测的气象现象,像“月中人”望着天空中地球上那样复杂的变化。我们也知道,环形山的形成是在相当久远的时代,也许在有历史的时期里还没有看见它曾经出现过一座。可是人们却想在这个不变的沉寂的世界里去找出一些变化来!人们怀着极大的兴趣,去探索是不是有一点运动的迹象会打破这永恒的静寂!可是人们在月亮上从来没有发现丝毫

变化的迹象。自从望远镜发明以来,热情的天文爱好者孜孜不倦地考查着月面上的情况。有一些具有“发现迷”的观测者,甚至宣布有新的环形山被发现、旧的被消灭或者变形。但综合过去的文献,加以详细的研究,我们认为这些所谓的发现或者变化,并不能得到证实。有一些小坑穴特别引起观测者的注意。在晴海边缘名叫林奈的坑穴,在100年前,有人认为不见了,并且也得到别人的印证。可是,现在只需要用一个15厘米直径的优良望远镜,便不难看见这个坑穴,只是观测的时间需要适宜,即要在日光斜照在它上面使它的凸凹起伏的形势特别突出的时候进行观测。这个坑穴的直径只有900米,它的墙垣仅高出它周围土地30米。在满月时,它的所在地只有一个白色的圆光;在日光的垂直照射下,这个坑穴就再也看不见了。这只是光线影响的结果,坑穴本身并没有发生变化。在梅西叶双环形山上,有人以为有了变化,也可以这样加以解释。有一个奇怪的实验,说明地上火山灰的性质和覆盖着月面的灰尘物是类似的。有人曾将两种不同的灰铺在一个盘上,一种铺在底下,另一种是以十字形铺在它的上面。这个盛灰的盘子在不同的光照下,拍了两次照(图179):左图是在斜射光线照耀下拍摄的,十字形看不见;右图是在直射光线照耀下拍摄的,十字形明显地出现。物理学家对于这个现象的解释是:这两种灰的漫射曲线不同,这两条曲线对于某一种照射角度是相交的。月亮上的灰尘物也表现出这样的差异。两个相邻接的区域,在太阳升起时是最暗黑的,然而在满月时可能是最明亮的。这样的变化可以造成形态、轮廓和大小的改观,可是在月亮上一切都没有变。在这一点上,最有趣味的结构应当是作为亚平宁山脉末端那座名叫埃拉托斯特尼的环形山。在一个太阴周里,它的形态、大小、各部分的色调,有着惊人的改变,这是人们在小号望远镜里就可以看得见的。但是这不过是光和影所形成的表面现象,在这一区域里尘埃的光学性质有了各种各样的表现。

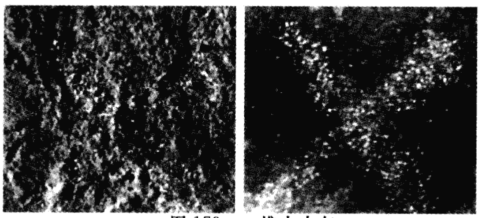


图179 **一堆火山灰**

上面盖有一层十字形的性质不同的灰。左图光线斜射,十字看不见;右图光线直射,十字出现。

可是月亮上一定有新的环形山出现,但是上面已经说过,这必须在很长的时间里才会发生,而且肉眼能不能观测到也很成问题。为了增加发现的可能性,应该预备一幅比洛伊和皮伊瑟的月球表面图还要详细的照片,以留作将来比较之用。如果只就这两位作者的图上的最小坑穴来说,我们曾经估计要6 000年才能出现一个。所以,用2 000年所拍的照片和该月球表面图比较,要寻出月球上的一点儿变化,可能的机会实在是少极了。如将来有高度清晰的照相机,装在适当的地方来对月亮做不断的拍照,所搜集的大量资料应当

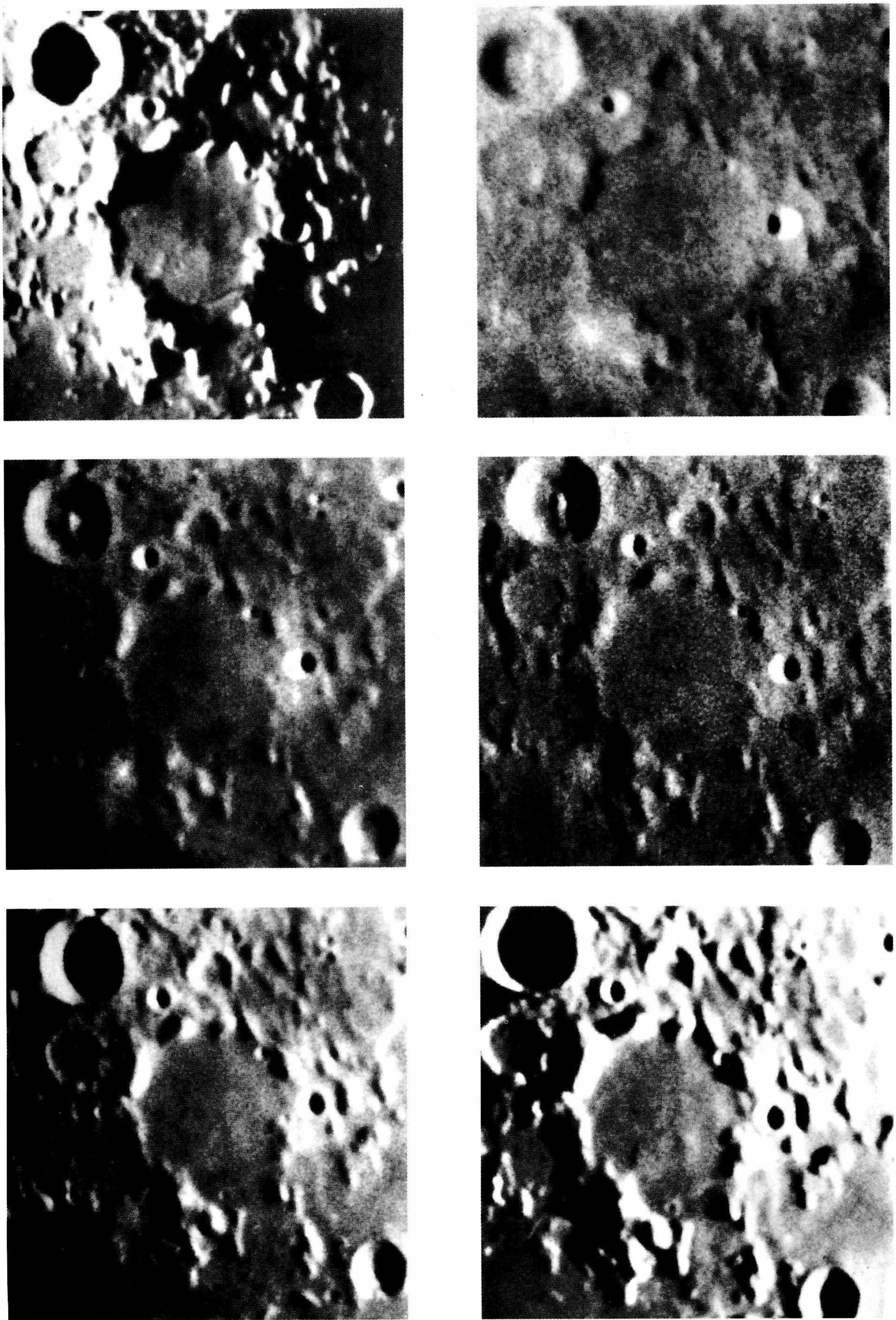


**图 180　月面情况随照明的变化而变化**

中央是弗拉马里翁环形山。

是有益的。如果在这些照片上能够分辨直径100多米的范围，那么新近被陨星击成的坑穴，就有被人发现的可能。

至于用望远镜作直接观测，在天文学家的注视下，要亲眼看见一块陨星爆炸从而造成一个坑穴，这件事之稀罕，正如陨星忽然落在遮盖望远镜的圆顶上面那样的稀罕。

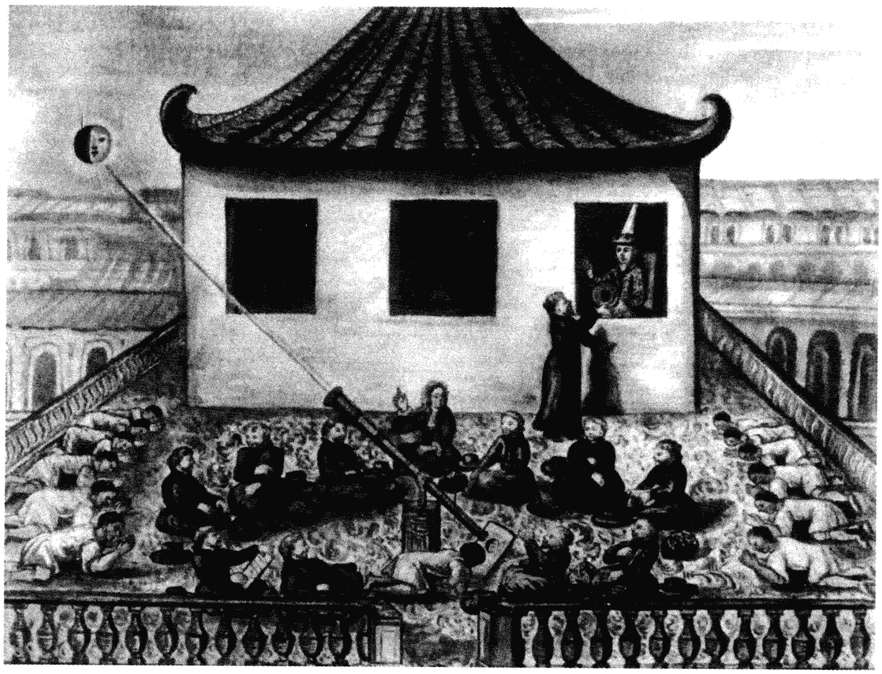


图181 日食在泰国(1688)

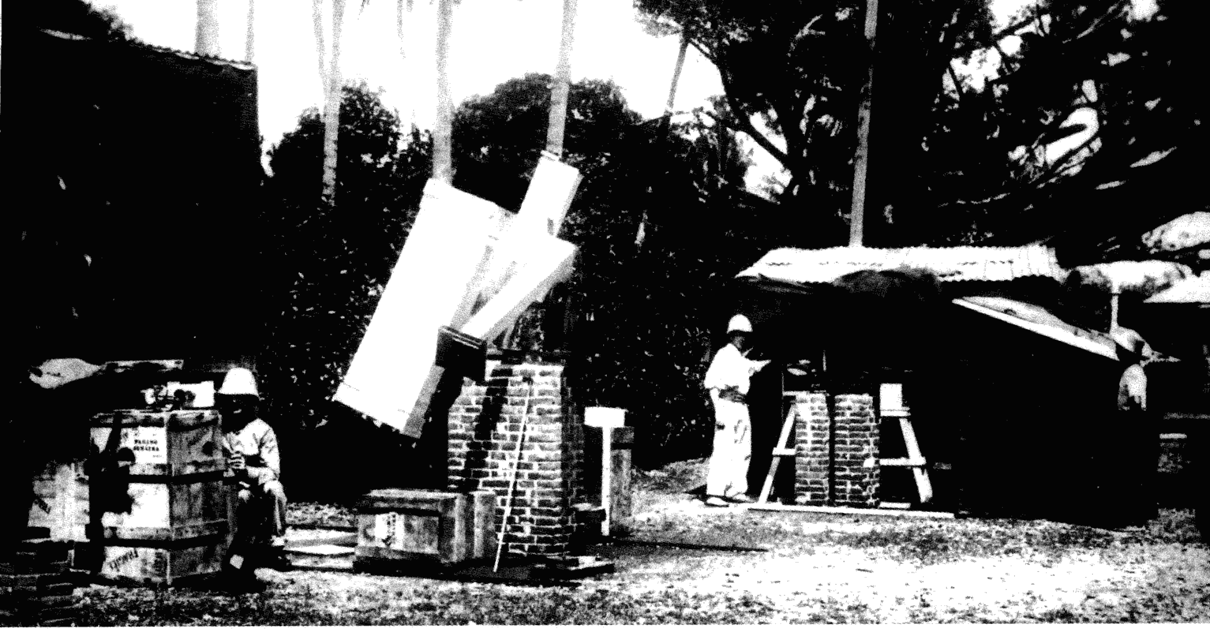


图 182　**观测天象**

# 第十四章

# 月食和日食

现在我们谈到一个伟大、惊人、有目共睹的自然现象。在一个美丽的日子里，无云的晴空上，炫目的日轮所发光的表面逐渐缩小，终于连最后的一线光辉也完全消逝了，大地变成黑夜。这样奇妙的情景，将给我们一种怎样难忘的印象呀！如果你不知道这是月亮暂时掩蔽了光明的太阳，是我们卫星的运动所造成的不可避免的结果，你怎么能不恐惧这黑夜的忽然降临而想象是妖精在作怪或神灵在发怒呢？事实上，在任何时代，任何未开化的民族的心理上，都有这样的看法，许多民族以为是一条看不见的龙把太阳吞食掉了。月食的现象也造成类似的印象〔我国民间传说认为是天狗吞月。——校者注〕，人们总恐惧天上的运动失去了和谐。不久以前，每当日食、月食发生的时候，许多人还敲锣打鼓去恐吓这条龙，叫它吐出它所吞食的太阳或月亮。

许多年以来，日食、月食和彗星都被人当做是不可避免的灾祸的预兆。举一个在法国

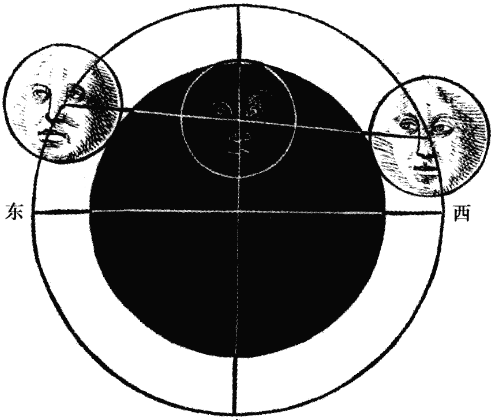



图 183　1558 年 4 月 2 日（儒略历）的月食（当时的木刻图）

发生的例子来说：在人们知道 1560 年 8 月 21 日将有日食的时候，有些人以为国家将有政变，罗马将要毁灭；有些人以为洪水将要重新淹没世界；还有人以为地上将有大的火灾，至少空气里也会染上瘟疫。相信这些灾祸的人很不少，许多被吓昏了的人遵照医生的嘱咐，把自己关在密闭的、烧暖的、熏香的地下室里，以便躲避邪恶的影响。帕蒂特有这样一段记载，他说：当日食的日子快要到来的时候，恐怖达到了高潮。一位乡村教堂的神父由于做忏悔的人非常众多（人们以为死期将近），无法应付，不得不登上讲坛，向他们宣布说"各位不要着急，因为悔罪的人太多，日食延期两星期以后举行"。这些善良的农民自然相信日食延期这个说法，因为他们所相信的只是日食所带来的灾祸。这也是因为在 1560 年间法国正当内战扰乱的时期，日食的预告很容易在人民的精神上激起很大的恐怖。可是 45 年以后，在亨利四世的统治期间，1605 年 10 月的日食只引起史学家埃斯多瓦尔（Estoile）的一段笑话："这时节，有一些怪病流行在巴黎，在本月 15 日太阳被吞食以前，有一些人已经先被疾病吃掉，看不见日食了。"

我们认为，有记载的最早的日食，发生于公元前 2137 年 10 月 22 日，这一记载是从中国的古书中找到的。据说，当时的御前天文学家羲、和两个人沉湎于酒，忽略了观测天象，严重地懈怠了工作，没有事前预告使人准备，以致在日食发生的时候，射者不执箭，乐人不击鼓，不能去恐吓恶魔叫它吐出所吞食的太阳。虽然太阳并没有被恶魔食掉，可是惊慌未定的中国皇帝却把羲、和处死了〔这是指我国《尚书·胤征》所载："羲和湎淫，废时乱日，胤往征之。"——译者注〕。天文学家米切尔（Mitchell）风趣地说道："所以，从那时以后，每逢日食，没有一位天文学家敢沉湎于酒了！"因日食、月食的影响，在历史上发生的可记载的事实实在不少。历史上最有名的日食当推古希腊七贤之一的泰勒斯（Thalès）所预言的一次，古希腊史学家希罗多德（Hèrodotos）曾经记载说："吕底亚（Lydia）和米底亚（Media）两国，兵连祸结，胜负未分，业已五载。在第六年里某一次战斗正激烈的时候，忽然天昏地暗，黑夜骤临。战士们以为上天示警，立即抛下武器修好言和。"这次日食，竟出人意料地消除了一场战争。据天文学家计算，那次日食发生在公元前 585 年 5 月 28 日午后。

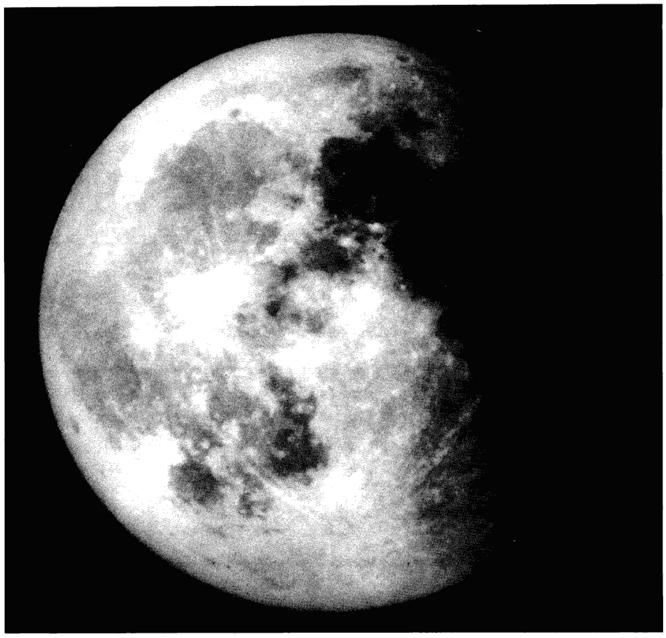


**图 184　在地球半影里的月亮**

1953 年 1 月 30 日 1 时 42 分（世界时），在出本影后的一会儿。

这是由史事去追寻古代日食的日期，而日食的日期亦可用以考证年代学上的往事。亚历山大在阿贝拉（Arbela）战争以前，在军中看见月全食，曾向造成这种现象的日、月、地三大神灵献祭致敬。雅典统帅尼希厄斯（Nicias）的死亡，大军在西西里的消灭，以至雅典的衰颓，都把原因归咎于某一次月食。据说，哥伦布在牙买加（Jamaïque）的时候，加勒比人（Caraïbes）要将他和他的随从饿死，他宣言如果加勒比人不给他食物，他那夜就不给他们月光。月食刚一开始，加勒比人就投降了。这一次月食发生在 1504 年 5 月 1 日，在欧洲曾经有两位有名的天文学家观测过那天夜晚 6 时牙买加岛所看见的月食。

自从人们明白日食、月食是日、月、地三大天体的运动组合成的自然的不可避免的结果，自从人们知道这些运动都是确定的永恒的，因而可以用计算的方法预知未来，或者追溯过去发生的日食、月食之后，这些现象就不再引起人们丝毫的恐怖了。18 世纪一位名叫潘格雷（Pingré）的天文学家计算了 3 000 年来所有的日食、月食，1887 年奥波耳子（Oppolzer）曾经发表了《食典》一书，记载了从公元前 1208 年至 2161 年的 8 000 次日食和从公元前 1207 年至公元后 2163 年的 5 200 次月食。

今天我们都知道，当围绕地球运行的月亮走到太阳和地球中间时就造成了日食；至于月食，那是月亮在地球背后被地球挡住了射到月面上的日光所造成的现象。这两种现象在性质上是有一点差异的。日食的情况，因观测者在地球上的位置不同，所看到的

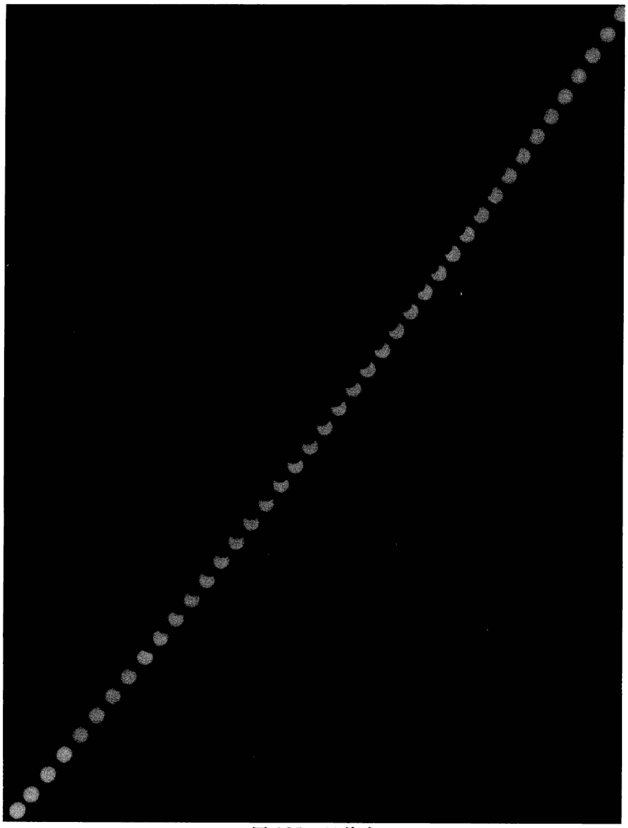


图 185 日偏食

1949 年 4 月 28 日在巴黎拍摄，在同一张照片上自始至终每 3 分钟露光一次，现象从左下方开始至右上方终了。

食的程度也就不同。这里看到的是全食或环食，那里看到的不过是偏食，而且偏食的成分又有多少的不同；同时，也还有些地方完全看不见食的。可是，在月食的情况下，因为月亮进入地影的时候，是全部或者一部分不被日光照着，所以在看得见月亮的半个地球上的人们看来，月食现象都是相同的。

所以月食的推算比日食简单得多，因为对于月食，我们只需算出对于所有观测者的一般情况就够了。但是对于日食，就不能只说一般情况，因见食的情况随地区而大有变化，而且能见全食或者环食的地带，实在是很狭窄的。由于古人不如今人这样确知月亮的运动，所以没有办法确切地预推日食。他们却更容易预言月食，只把它当做是一个周期现象，每隔 18 年零 11 日差不多照样重演一遍，所以只需观测记录下来的前一个周期里一切月食的情况，就可以相当准确地预言下一周期里所有的月食。



图 186 日食时树阴下的光影

由于现在我们对于月亮的运动比古人知道的确切得多，我们可以在很多年甚至许多世纪以前，预先计算月食的一般情况和月食在各地发生的细节。同样，我们也可以上溯过去发生过的月食，在什么地方曾经看见，用它去考证历史上争辩的年代，或某一个史事发生

的日期。在下一节内，我们将对这些现象详细说明。

日食总是发生在新月朔日，月食总是发生在满月望日。这个事实使得人们很早就去猜度它的原因。新月时，月亮经过地球和太阳之间，可能遮掩着太阳光辉的一部或全部；满月时，地球在月亮和太阳之间，可能阻挡了日光射到月面上去。知道了这一点，一切都容易解释了。

假使月绕地转和地绕日转，两个轨道都同在一个平面内，那么每逢新月，必有日食。但是我们已经说过，月亮常在黄道面的上边或者下边经过，所以不是每逢新月便有日食；同样，也不是每逢满月便有月食。

读者再研究一下图 187，便很容易明了日食、月食发生的缘由。图上部是发光的太阳，下部是有月亮伴随着的地球。我们可以看见月亮是绕着地球在运行。满月时，如果月亮穿过地球的黑影（图的最下部），它就受不到太阳光的照射，这便产生月食；月食有全食或偏食，这需要看月亮是全部或者部分没入地球的黑影而定。在这个完全黑暗的地影（叫做本影）的两旁，还有所谓半影的，这是因为太阳不是一个发光点，而是一个在我们眼里张有 32′的球，有一部分日光可以进入半影里去。新月时，如果月亮恰好经过日面，月亮背后拖着的黑影正好落在我们的头上，这个黑影在地球面上描出一个椭圆形的黑圈。地球的自转和月亮绕地球公转的综合，又使这个黑影在地球面上一定的地区内扫过。在这个黑影经过的地方，人们看见太阳被遮蔽了一会儿，这便是日食；如果月亮正好和我们相当接近，它的视直径大于太阳的视直径，这便演成日全食；如果月亮在它的轨道上适逢离开我们最远，月轮盖不满日轮时（图 197），便形成日环食；如果日、月两轮的中心不相合，月亮只能掩盖日轮的一部分，这叫做日偏食。在一个地区看到日全食的机会是异常稀罕的。

这便是日食、月食的一般理论。现在，让我们先从月食开始，详细研究一下这些现象。

## 月　食

月亮虽然比太阳小得多，但是因为它和我们很接近，所以从地球上看去，月亮和太阳在我们眼里所张的角度差不多是相等的。我们曾经说过，因为日月两球和地球的距离随时在改变，所以它们的大小在我们眼里有差别，月轮的直径比日轮的直径也时大时小。

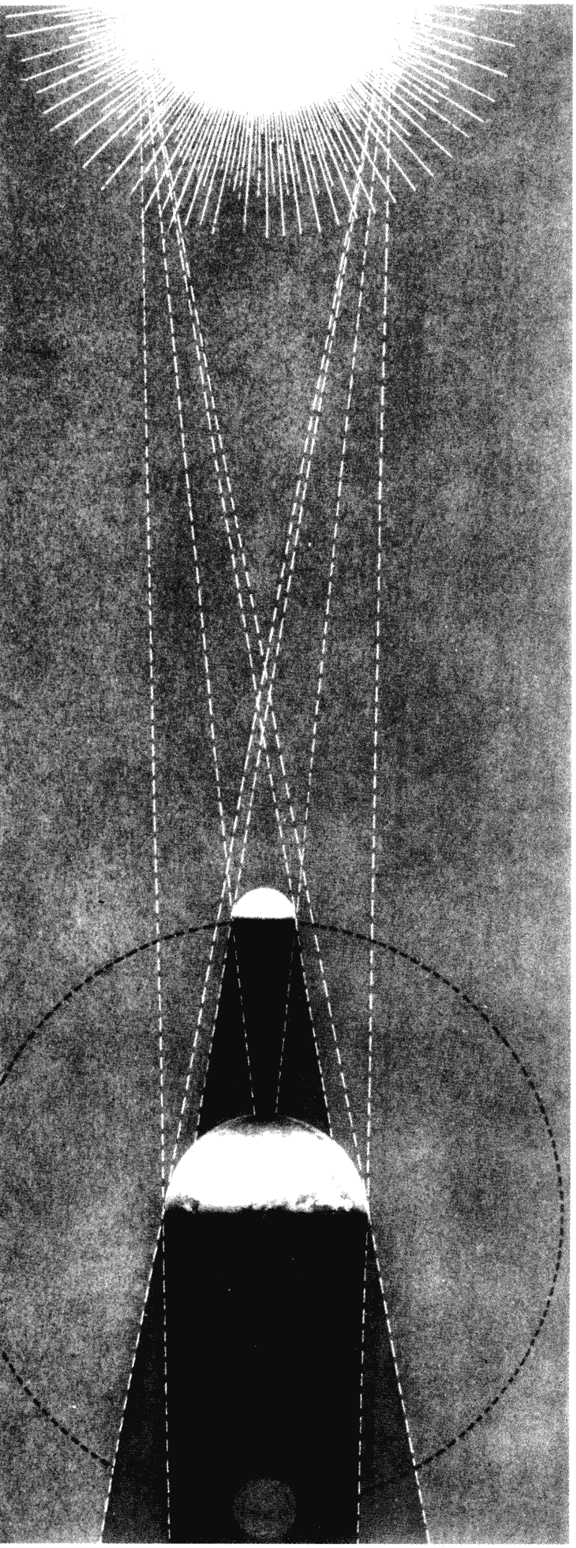


图 187　日食和月食的图解

地球背着太阳的半面拖着一个圆锥形的黑影，长达地球赤道半径的 217 倍，即 138.4 万千米。在月亮和地球的平均距离 38.44 万千米处，地影约比月亮大 3 倍(2.7)。我们的卫星经过这个黑影时，可以全部被淹没在这个黑影里面。

月全食开始时，月球东边沿上的光先开始黯淡，起初还觉察不到，接着便愈来愈显著，那时月亮已经进入半影(图 184)。随后，月轮上发生一个小缺口，这个缺口愈来愈侵蚀光明的圆轮，这时，月亮渐次进入了本影。缺口的边沿是圆形的，这是地球是球形的最早的证据，因为物体的阴影显然是和它的侧面像同形的(参看图 4)。

月食的一般情况是这样的：起初，黑影是蓝灰色的，被食部分的细节辨别不清楚；黑影侵入月轮以后，被食部分变为红铜色，同时主要黑影的细节也更容易看清楚了；一达到全食的时候(食既)，整个月轮都变成了红色。可是即使在同一次的月食里，这种颜色也是有变化的。月亮越过了地影的整个宽度以后，它从那里走出，先露出一丝明亮的娥眉后逐渐扩大起来。因月绕地运行是由西向东，或者说由右向左，所以它的左边或者东边首先进入地影，开始被食，也同样是这一边开始走出地影而生光。

在月全食时，我们还是可以看得见月亮，原因是由于日光的折射，日光经过地球最密的低层大气变成了折射，然后把它像夕阳那样的光投射在月面上去。这个解释首先是由开普

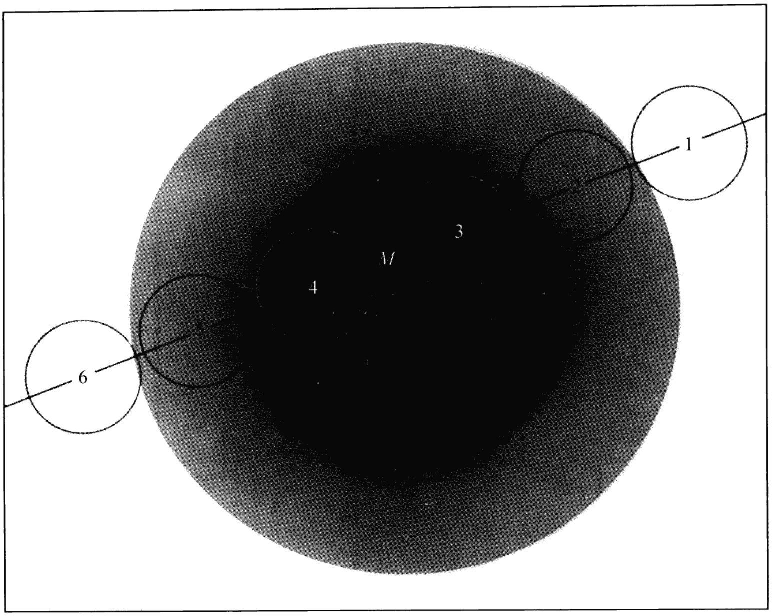



**图 188　月亮在地球半影和本影里的行踪**

1953 年 1 月 29—30 日，图 184 与图 190 所拍摄的照片便是这一次的月食，此图表示月亮在与半影接触(1 和 6)及初亏(2)、食既(3)、生光(4)、复圆(5)等情况，食甚(M)是全食的正中。

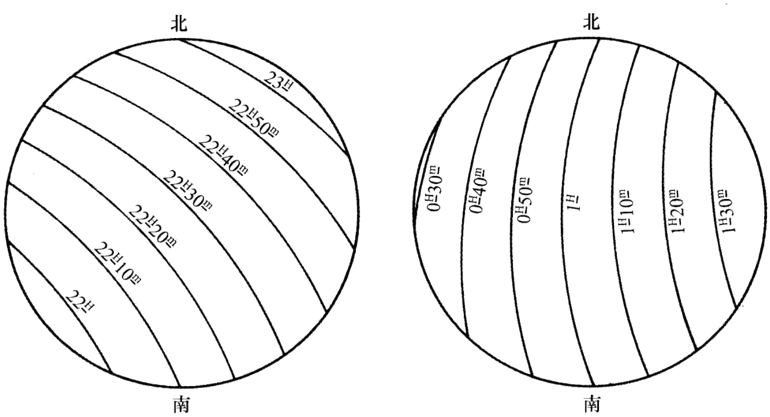



**图 189　地球本影的边缘在月面上的几个位置**

这是 1953 年 1 月 29—30 日月全食的几个偏食阶段，可以和图 184 与图 190 作比较，图中 H 为小时，m 为分。



**图 190　月食的各个阶段**

1953 年 1 月 29—30 日，由左至右进行，北在上。

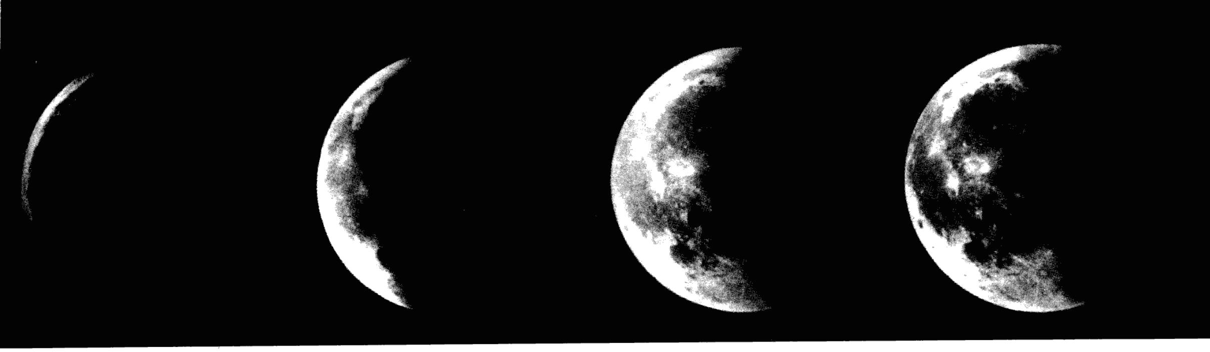
1 月 29 日 22 时 5 分，露光 0.2 秒，月亮部分进入本影。　1 月 29 日 22 时 33 分，露光 1 秒，月亮部分进入本影。　1 月 29 日 23 时 2 分，露光 15 秒，月亮部分进入本影。　1 月 29 日 23 时 12 分，露光 20 秒，全食开始。

勒提出的。这些在地球大气里走了相当长的路程、被折射到影锥里去的光线，照耀着月面。如果这些光线在地球大气里遇着云雾或者透过从火山喷出的悬在空中的灰尘，这些光线便变弱了，被食的月亮也就没有那样鲜明了。所以我们看见的月食有时亮有时暗，是不足为奇的。喀拉喀托(Krakatau)火山爆发之后一年，大气里直至离地 70 千米高处都还有灰尘。1884 年 10 月 4 日的月全食，看上去是一个灰色的轮，巴黎地区虽逢晴夜，但这个被食的月轮也只模糊地可以被人看见。

有些月食异常的明亮，在有些观测者眼里，它不仅是具有红铜的颜色，甚至还被人们以为是满月，不过，这只是一种过于夸大的说法。在最高的月全食时，人们用肉眼很容易在被食的月轮周围看见星星，这是因为没有月光干扰之故。最常见的现象是月球上各区的明亮度不是均匀的，近影心的部分黯淡无色，别的部分却带着有特征的红铜颜色。即使是这种各部分不一样亮的现象，也不会使得全食的月亮和满月发生混淆。

有人以为全食了的月亮在天上是完全看不见的，对这种另一极端的看法，也该保留地对待。如果天气晴朗，这绝不会是看不见的；当然，被食的月在地平线上的雾气里，特别是在黄昏或者黎明的时候，也许不会引起观测者的注意。有人常举出完全看不见的月食，例如 1601 年的一次月食，但是，那一次只是偏食而已！还有一些看不见的月食，那只是因少数人在不利的气候下的缘故，并不是应该食而不见食的。

自古以来，就有人说到一个似乎不合理的现象，那就是在一个地方同时看见落日和初升的被食之月(或者初升的太阳和快落下的被食之月)。因为食的时候，日、地、月必须在(至少大约在)一直线上，又因视差的效果使得观测者看到地平线附近的月亮下降了约有 1°，这种同时看见的现象似乎不可理解。不过，蒙气差(或称天文折光)使日、月两圆轮各升起 0.5°多一点，这样便可以抵消了视差的效果，并且在观测的时候，月亮的中心可能在地影的中心上边。这种同时可见的现象毕竟是转眼就过去的，这种现象至多不过经历几分钟罢了。



1月30日0时35分，露光15秒，月亮部分在本影里。 1月30日1时4分，露光1秒，月亮部分在本影里。 1月30日1时23分，露光0.5秒，月亮部分在本影里。 1月30日1时42分，露光0.2秒，月亮部分在半影里。

利用太阳和月亮的位置表去计算月食，并不是很困难的事，但是请读者原谅，我们不能详细讨论这个数学上的问题，这在一般球面天文学书中都有叙述，读者可去参看。可是我们不能不谈到预测月食和日食的方法，这种方法虽不十分准确，但却是简单而且方便的。自迦勒底最早的天文学家预测月食、日食以来，这一方法一直为人所采用。他们凭经验发现，一次食以后再发生同样性质的食中间需经223个太阴月或者18年11日8时。这种迦勒底周期通常叫做沙罗周期。

这种周期值得详细解说一下。在月食的时候，月亮须处在与太阳相冲的位置，经过若干太阴月以后，可再回到同样的位置来。可是我们已经说过，并不是月亮逢冲即食，它还须在黄道上，即到日、月两轨道的交点上。月亮回到交点的周期，叫做交点周期，是27.2122日；至于继续两次相冲的时间，叫做会合周期，是29.5306日。如果沙罗周期恰恰是食的周期，我们便可以断定它既含会合周期的整倍数，也含交点周期的整倍数。这样，我们就容易计算出，223个会合周期(即朔望月)，只差51分钟便等于242个交点周。所以经过18年11日8时，月亮同时再相冲而且再回到黄道上来。但是这样并不足以保证食的再现，因为我们已经说过，月亮的运动很复杂。因为它的轨道的偏心率大，在近地点和远地点中间的时候，它可以相差前后6°之多。实际上，并不需要差这么多就可以使食不再发生。这里有一个很奇特的偶合情况，那就是223个朔望月差不多等于239个近点周期(只差5时)，经过这样一个周期，月亮会再回到它轨道上差不多相同的一点。我们还可以注意到这样一点：食在每年的同一时期发生，每次较前一次约迟11日，这种周年差也和沙罗周期的余数相同！所以，就因为这一连串情况的巧合，使得18年11日8时的沙罗周期成了有力的预测日食、月食的方法。如果将继续18年的日食、月食列成一个表，再在这表上每次食发生的日期上加上18年11日，便可得到下一沙罗周期里见食的日期。我们可以想象，这一周期曾经使它的发现者怎样的惊奇；即使是我们，虽然已经知道其中的缘故，也还是会惊诧这种料想不到的偶合。这也是独一无二的情况，例如有人在木星的卫星里去找这

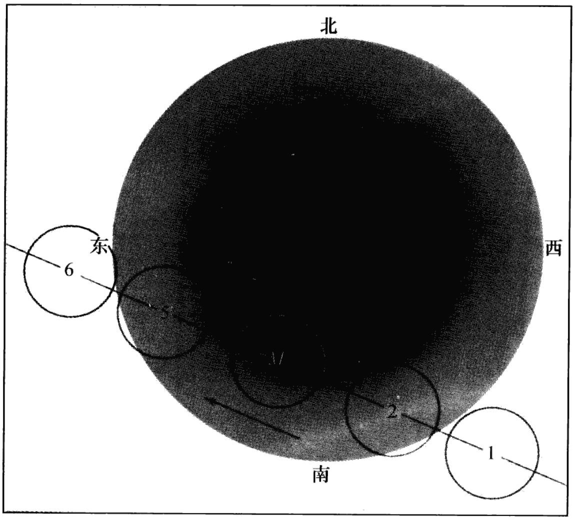



图 191 月亮在地球的半影和本影里的行踪
1952 年 8 月 5 日月偏食的情况，食中 M 本影仅食月亮直径的 53%。

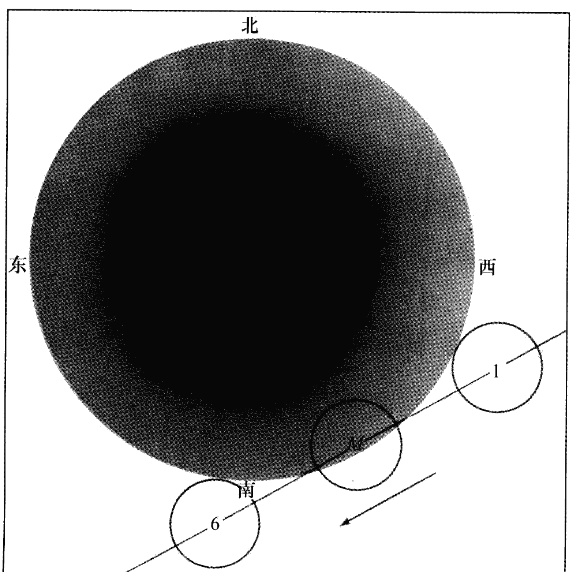



图 192 月亮在半影里经过的行踪
1951 年 3 月 23 日的情况，在现象的正中，半影中掩盖月亮直径的 64%。

样的组合，便找不着。

因为一个沙罗周期除了 6 585 个整日以外，还有 8 时，所以经过 18 年 11 日所看见的食，不在地球上的同一区域，这一次在这里的天顶所出现的月食，下一次应出现在它的西方大约 120°的地方。例如，1931 年 9 月 26 日的月全食，食甚发生在印度洋东经 62°的某一点天顶处，1949 年 10 月 7 日这现象复见于大西洋上西经 46°处；第二次将再出现于 1967 年 10 月 18 日，在太平洋上西经 158°处；只是在第三沙罗周期，即经过 54 年 34 日，在 1985 年 10 月 28 日，再回到印度洋东经 90°地方见食。

在连续两沙罗周期里，食象是有变化的，例如 1931 年的月全食长达 1 时 20 分，1985 年只长 42 分。事实上，沙罗周期并不是一个固定的周期，因为如像我们所看过的，它不是会合周、交点周、近点周和回归年四个周期的整倍数。所以在一个很短时间的全食以后，可能继续来一次偏食，或者一次偏食以后来一个很短时间的全食。在上面所举的四次月全食以后，还有一次月全食，将发生在 2003 年，但 2021 年的月食只是偏食的。以后经过几个世纪，这一系列的月食都是偏

食，食时逐渐变短，以至一系列的半影食（图 192）。

如果再追溯到过去，同系的第一偏食在 1625 年 3 月 24 日，同系的第一全食在 1769 年 6 月 19 日。但是在第一次偏食以前，已经有一系列的半影食，预告这一系列月食的开始，可惜它们没有经人计算。然而我们可以证明一整系的月食，如果把半影食包括在内，平均有 70 个沙罗周期，约经过 13 个世纪。虽然我们不能根据沙罗周期去推测每次日食、月食的情况，但是却可以说出它们发生的日期，而且在这一点上很少有错误。现在我们谈一谈月食经过的各个阶段。假使我们能够在天上对着太阳和地球，在满月所在的空间里铺上一张巨幕，我们就会看见地球投在那上面的圆形本影和它外围的半影。这个本影的直径平均是 9 300 千米，半影的直径为 1.64 万千米。月亮可以整个进入这个黑影，因为它的直径不过是 3 474 千米，这样就形成了月全食。但是我们知道不是所有的月食都是全食。

月轮接触半影的外围时，便是月食的开始或完结。也许在这个起讫期间，月轮没有接触到本影，只是部分或全部经过半影，这叫做半影食（图 192）。半影食须食去月轮的一半，才足以引起观测者的注意，靠近本影的那一部分月轮显然是要黯淡一些。不久以前，天文学家对于这种半影食并不感兴趣，因而也不预告。自 1951 年以来，法国天文年历才开始记载半影食，因为观测这种现象可以研究地球的大气。此外，在天文研究上也有价值，由于缺少了半影食，食的统计便不完全。

如果在月食中，月轮进入了地球的本影，我们称这种现象为本影食；如果月轮一部分在本影内，一部分在半影内，这叫做偏食；如果月轮在食中全部进入本影，这叫做全食。当然，在全食阶段发生的前后，都有偏食的阶段。下面叙述一次月食现象的全部经过。

**1953 年 1 月 29—30 日的月全食**

| | |
|---|---|
| 进入半影 | 29 日 20 时 42 分（世界时） |
| 进入本影（初亏） | 21 时 54 分 |
| 全食开始（食既） | 23 时 5 分 |
| 食中（食甚） | 23 时 47 分 |
| 全食终了（生光） | 30 日 0 时 30 分 |
| 退出本影（复圆） | 1 时 40 分 |
| 退出半影 | 2 时 53 分 |

对于偏食，上表里可少两行：

**1952 年 8 月 5 日的月偏食**

| | |
|---|---|
| 进入半影 | 17 时 28 分(世界时) |
| 进入本影(初亏) | 18 时 34 分 |
| 食中(食甚) | 19 时 47 分 |
| 退出本影(复圆) | 21 时 1 分 |
| 退出半影 | 22 时 7 分 |

最后还有半影食的记载如下：

**1951 年 3 月 23 日月亮的半影食**

| | |
|---|---|
| 进入半影 | 8 时 50 分(世界时) |
| 食中 | 10 时 37 分 |
| 退出半影 | 12 时 24 分 |

图 188、191 和 192 三幅图表示三次月食时月亮在地球的本影和半影里经过的情况。月食自入半影至出半影中间经过的时间，在中心食最好的情况下可达 6 时 19 分，全食时间可达 1 时 45 分。下表记载了一个沙罗周期中自 1940 年至 1957 年间所有的月食。

**1940 年至 1957 年间的月食**

| 日期 | 食的类别 | 日期 | 食的类别 |
|---|---|---|---|
| 1940 年 3 月 23 日 | 半影 | 1949 年 4 月 13 日 | 本影 全食 |
| 1940 年 4 月 22 日 | 半影 | 1949 年 10 月 7 日 | 本影 全食 |
| 1940 年 10 月 16 日 | 半影 | 1950 年 4 月 2 日 | 本影 全食 |
| 1941 年 3 月 3 日 | 本影 偏食 | 1950 年 9 月 26 日 | 本影 全食 |
| 1941 年 9 月 15 日 | 本影 偏食 | 1951 年 3 月 23 日 | 半影 |
| 1942 年 3 月 3 日 | 本影 全食 | 1951 年 8 月 17 日 | 半影 |
| 1942 年 8 月 26 日 | 本影 全食 | 1951 年 9 月 15 日 | 半影 |
| 1943 年 2 月 19 日 | 本影 偏食 | 1952 年 2 月 11 日 | 本影 偏食 |
| 1943 年 8 月 15 日 | 本影 偏食 | 1952 年 8 月 5 日 | 本影 偏食 |
| 1944 年 2 月 9 日 | 半影 | 1953 年 1 月 29 日 | 本影 全食 |
| 1944 年 7 月 6 日 | 半影 | 1953 年 7 月 26 日 | 本影 全食 |
| 1944 年 8 月 4 日 | 半影 | 1954 年 1 月 19 日 | 本影 全食 |
| 1944 年 12 月 29 日 | 半影 | 1954 年 7 月 16 日 | 本影 偏食 |
| 1945 年 6 月 25 日 | 本影 偏食 | 1955 年 1 月 8 日 | 半影 |
| 1945 年 12 月 19 日 | 本影 全食 | 1955 年 6 月 5 日 | 半影 |
| 1946 年 6 月 14 日 | 本影 全食 | 1955 年 11 月 29 日 | 本影 偏食 |
| 1946 年 12 月 8 日 | 本影 全食 | 1956 年 5 月 24 日 | 本影 偏食 |
| 1947 年 6 月 3 日 | 本影 偏食 | 1956 年 11 月 18 日 | 本影 全食 |
| 1947 年 11 月 28 日 | 半影 | 1957 年 5 月 13 日 | 本影 全食 |
| 1948 年 4 月 23 日 | 本影 偏食 | 1957 年 11 月 7 日 | 本影 全食 |
| 1948 年 10 月 18 日 | 半影 | | |

这一个沙罗周期以后，继之而来的有1958年4月4日的半影食，那是上表内1940年3月23日一次半影食的重演。同样将18年11日加到上表内各日期上去，便构成下一沙罗周期的月食表。如果在18年内遇到5个（而不是4个）闰年，则在第五个闰年的日期上要加上10日，而不是11日。由上表可见，这一个沙罗周期里有14个半影食，12个本影偏食，15个全食，总共41次食。但这些数字并不是一成不变的，可以增减几次，这些数字变化的周期约为590年。一个沙罗周期里月食的平均次数是43次。我们现在是近于极小期。上表内本影食为27次，这数字可以从25变至29。我们还可以看见，本影食常隔6个朔望月有一次。因为12个朔望月等于1年少11日，月食日期在连续两年里常提前11日〔这种日期的改变，是由这一年到次年提前11日，不应该把它和由第一次沙罗周期到第二次沙罗周期食期后退11日的另一件事混淆起来〕。例如1952年2月11日和8月5日，1953年1月29日和7月26日，1954年1月19日和7月16日等6次月食。在这些成群出现的本影食之间有17个无食的月或者仅有半影食的23个朔望月（或者很例外的只有11个朔望月）。如果把半影食也计算在食数之内，我们可以明白没有无食的年。事实上，

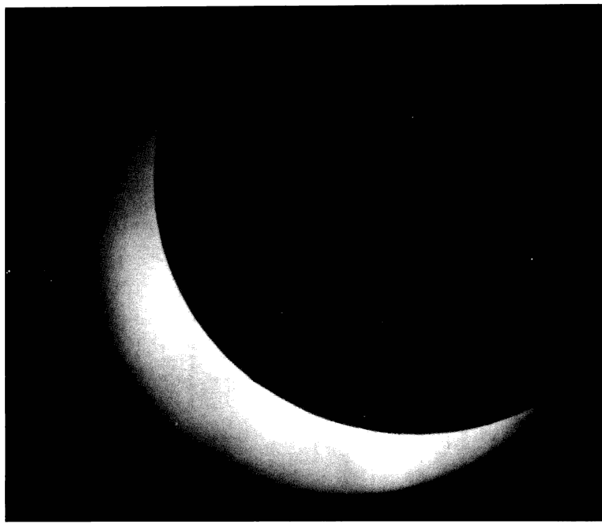


**图193　日食**

1912年4月17日在世界时12时24分21秒（全食后）拍摄，地点在法国塞纳与瓦兹省的格里尼翁地方（默东天文台拍摄）。

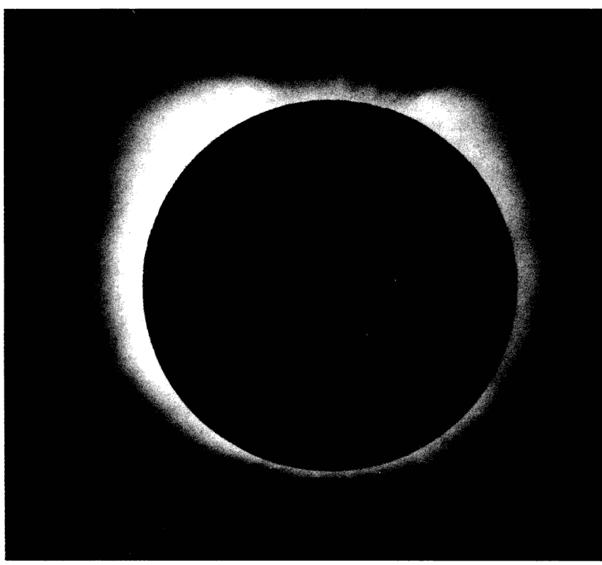


**图194　日全食**

1914年5月21日在克里米亚的太奥多西（Theodosic）拍摄，月亮黑轮周围的光辉就是日冕。

一年里月食的次数至少有2次,至多有5次。

半影食常在连续两个满月里出现:例如1973年6月16日和7月15日,1980年7月28日和8月26日,1984年5月15日和6月13日等次的半影食。可是本影食却不会有这样的事。月食可以隔1个月、5个月或6个月发生,其中以隔6个月的时期为最多。

对于古代的天文工作者来说,对月食的观测是一件重要的事,因为他们可以利用观测去检验他们关于月亮运行的理论。现象证实了预测,给予古代的科学家以信心。到今天,月食的现象还是天文学上值得研究的课题。虽然月食的观测对于天体力学工作者来说已没有多大兴趣,但是地球物理学家还要对月食作光度或分光的研究,以便由此了解我们的大气。另外,天体物理学家也想由这样的研究去明了月亮上土壤的性质。最后,我们来回答这样一个问题:在一定的地方,例如在巴黎,可以看得见多少次本影食呢?自1925年至1949年中间经过了25年,那里的人看到了19次月食,其中8次偏食,3次全食,但那里只见偏食〔这是因为月全食之时,月亮已经在巴黎西落了或还未从东方升起。——译者注〕和8次真正看见的全食,平均来说,9年内有7次月食,其中4次见偏食,3次见全食。但是这个统计是只就这个比较少食的时期来说的。

## ◀日 食▶

在一切天象里,没有什么比日全食更能引起人们的幻想了。有什么现象能够比晴天中午太阳骤然消失更令人奇怪的呢?在人们还不明白这种现象的原因之前,太阳昼晦是被人当做超自然的神灵发怒的表现。自从人们发现了这个自然现象的原因,并根据计算可得出和事实非常吻合的预测之后,即使是没有受过许多教育的人也不会再感到恐怖,可是这个伟大的现象仍然会给人难忘的印象。一到了预言初亏的时刻,我们在明亮的日轮的西边沿上便看见一丝黑影在继续发展,侵蚀着日轮,一直到日轮上只剩下娥眉月似的一丝光辉。同时人们会感觉到,日光逐渐减少,一种凄惨黯淡的微明代替了辉煌夺目的日光,地面上顿然会显现一种阴暗的景象。转瞬间,太阳已变成一丝光明的弧线,人们仍然把希望寄托在自古就照耀着地球的太阳不会从此消亡。刹那间,最后一线日光也消失了,只剩下一片黑暗(因为它来得突然,所以我们感觉得特别黑)笼罩着我们,使整个自然处在惊愕和沉寂中……而明星出现在天空!在全食前人们还在一边注意现象的发展,一边谈说各人的观感,但现在,在发出一声惊奇的叫喊之后,大家都沉默了,好像被什么惊呆了。刚才还在歌唱的雀鸟,现在蹲在树叶下战栗;狗躲藏到它主人的腿下去;母鸡把它的雏鸡

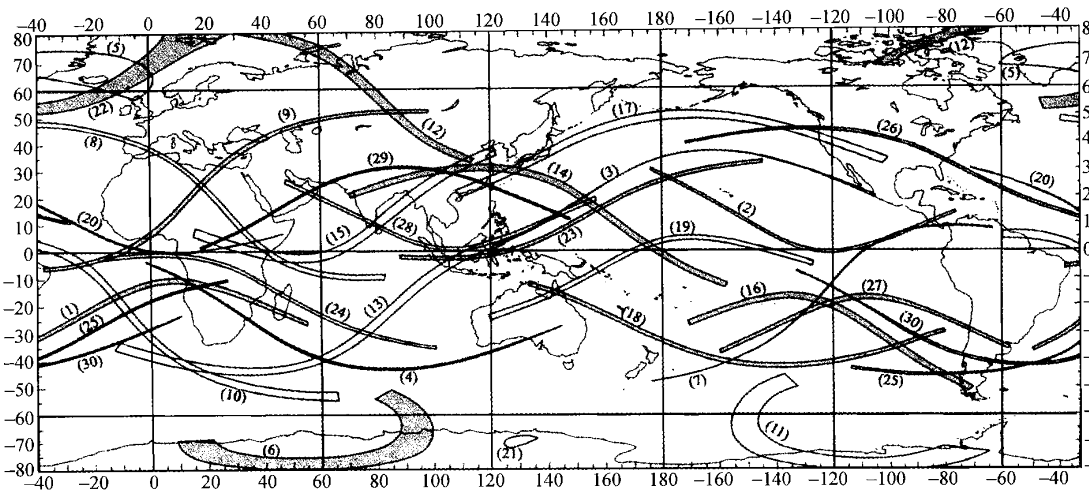



图 195　世界日食地图，2001—2020

| | | |
|---|---|---|
| (1) 2001 年 6 月 21 日　全食 | (11) 2008 年 2 月 7 日　环食 | (21) 2014 年 4 月 29 日　环食 |
| (2) 2001 年 12 月 15 日　环食 | (12) 2008 年 8 月 1 日　全食 | (22) 2015 年 3 月 20 日　全食 |
| (3) 2002 年 6 月 11 日　环食 | (13) 2009 年 1 月 26 日　环食 | (23) 2016 年 3 月 9 日　全食 |
| (4) 2002 年 12 月 4 日　全食 | (14) 2009 年 7 月 22 日　全食 | (24) 2016 年 9 月 1 日　环食 |
| (5) 2003 年 5 月 31 日　环食 | (15) 2010 年 1 月 15 日　环食 | (25) 2017 年 2 月 26 日　环食 |
| (6) 2003 年 11 月 24 日　全食 | (16) 2010 年 7 月 12 日　全食 | (26) 2017 年 8 月 22 日　全食 |
| (7) 2005 年 4 月 9 日　全食 | (17) 2012 年 5 月 21 日　环食 | (27) 2019 年 7 月 3 日　全食 |
| (8) 2005 年 10 月 3 日　环食 | (18) 2012 年 11 月 14 日　全食 | (28) 2019 年 12 月 26 日　环食 |
| (9) 2006 年 3 月 29 日　全食 | (19) 2013 年 5 月 10 日　环食 | (29) 2020 年 6 月 21 日　环食 |
| (10) 2006 年 9 月 22 日　环食 | (20) 2013 年 11 月 3 日　环食 | (30) 2020 年 12 月 15 日　全食 |

中国科学院紫金山天文台研究员、日月食计算专家刘宝琳提供。
图片来源：Fred Espenak，gsfc/NASA。

藏在翼下；活跃的自然变成无声无息了。黑夜降临了，这种黑夜，有时很黑，但时常是不完全黑的，呈现出一种奇怪的反常的景象，地球仍然被一点儿红光模糊地照耀着，这是从月球影锥之外太阳的高层大气而来的。在有些日全食时，所有在地平线上的行星和 1 等、2 等星都可以看见，然而有时只是几颗明星和行星可以看见。气温迅速地降低，有时候有一种叫做日食风的风开始吹刮起来。

所有的眼睛都望着天空的一点，在那里呈现出怎样的奇观呀！在日轮上飘荡着漆黑的一个月轮，外围镶着淡红色光的细丝，那是太阳的色球层。从这个色球层喷出高度可达 90 万千米的巨大火焰，这便是太阳的日珥。在色球颜色圈的外边还有白色或者珍珠色的光环，延展出去达到几个太阳的直径那样远，这是日冕层，自古以来它就引起人们的注意。开普勒于 1605 年在那不勒斯、卡西尼于 1706 年在观测日食时都对日冕加以描绘，但是他们都相信这种光辉是地球大气所造成的，或者是月亮边沿对日光的漫射。但经过 1842 年的观测以后，人们才开始承认它是有可能属于太阳的，用望远镜不足以欣赏这个无可比拟

的景象，唯有肉眼才能看出它美丽的全貌，可惜这个景象是很短暂的。转瞬间，在月亮的西边沿冒出一丝弯月式的光辉，而且迅速地扩大。日冕和日珥的神秘光辉立刻消逝，自然界渐渐又恢复到它平常的情况。

用数学方法去预测日食比预测月食要困难得多。这种难易程度的不同是由于两种现象的性质有所不同。月亮被食的时候，它是真的失去了它的光辉，凡是能看见月食的人，都能同时看见月亮同样的黯淡亏缺。反之，在日食进行的时候，月轮掩盖了日轮，月轮在我们眼前遮蔽了日轮上的一部分光线；即使在同一瞬间，这部分所遮蔽的光线也随观测者在地球上的位置不同而有多寡之别。在某一瞬间，有些人看见太阳仍如往常一般，有些人看见它残缺不全，但各人所见被食部分有多寡的不同，尤其是只有少数幸运的人才能看见全食或环食。

读者若研究一下图 187 和后面的图 198，就不难明白日食和月食是不同的。图 198 表示地上各处看见某次日食的情况，和本影与半影投射在地面上的界限。我们还要谈到本影，它的范围是很有限的，而半影的范围却可延展至几千千米之远。对于半影界限以外的观测者，不会看见任何特殊的现象，他们看到太阳仍和往常一样，没有丝毫的亏损。这并不是因为月轮离开这些人要远一些，而是因为它是黑暗的，不能被人看见。只有在半影界限内的观测者才能看见日轮遭了黑影的侵蚀，而且愈在半影内，看见亏损的程度也就愈大，这些地方叫做偏食区。最后，只有在本影锥接触地面的小区域里，观测者才能看见一般人叫做的中心食，中心食分为全食和环食两种，我们将要在下面加以解说。

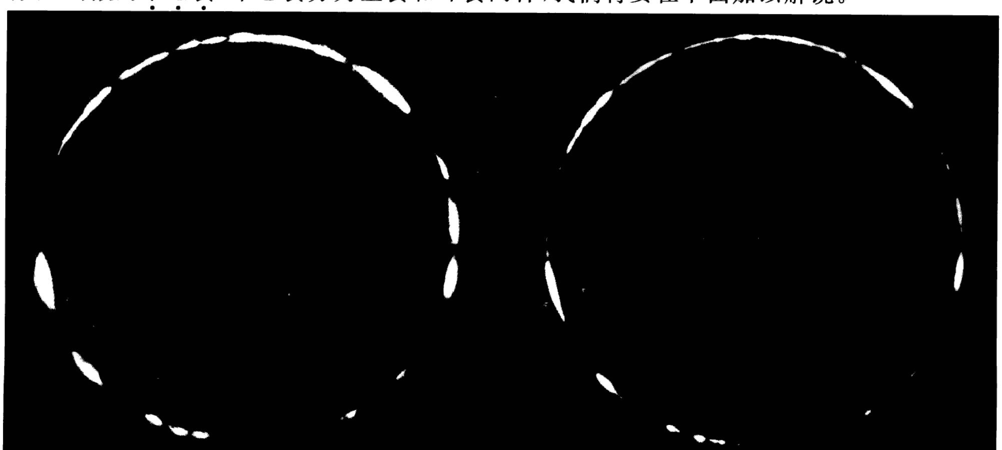


**图 196 两个珍珠食**

这两张照片相隔 36 年 22 日（两个沙罗周），左图是在 1912 年 4 月 17 日 12 时 9 分 53 秒（世界时），于法国塞纳与瓦兹省的圣隆拉布尔特西所拍摄的，右图是在 1948 年 5 月 9 日 2 时 50 分 32 秒（世界时），于日本北海道礼文岛所拍摄的，照片上因照相的乳胶弥散光线，大大增加了倍里珠的效果。

中心食的阶段必然是暂时的，因为月亮的运行拖着本影扫过地面，比地球自转带着观测者前进还要快些。月亮的速度大约是每秒 1 千米，而地面上一点的自转至多不过是几百米(在赤道上每秒 465 米)，所以本影迅速地向东奔驰。飞行的人可以看见本影在地上奔驰，正如站在山上的人看见乌云的黑影在平原上奔驰一样。1912 年 4 月 17 日，几位飞行家就看见这样的本影在法兰西岛的乡间扫过，它的直径只有两三千米。那一次日食，日、月两轮的视直径差不多是相同的，观测者看见全食的时间很短。在巴黎附近的圣日耳曼·翁·雷(Saint-Germain-enLay)地方所看见的，既非全食，亦非环食。月面高低起伏处没有完全把日轮盖住，还有一些凹凸的点子可以望见。这样，在月亮的黑暗圆轮的周围好像装饰着一串明亮的珠子。但这种现象的出现到消逝其间不过两秒钟，并不是所有照相的人都能有机会拍摄到这种镶着光珠的食象。

中心食在怎样的情形下是全食，在怎样的情形下是环食呢？我们已经说过，月亮的视直径是变化的。在日食的时候，它可能小到 29′22″，大到 33′26″，变化的范围差不多有 4′。太阳的视直径也随季节而有变化，可能由 31′28″变到 32′32″。由此可见，月轮比日轮有时大有时小(图 197)。上面所列的数值是观测者看见月亮在地平线上的数值。如果月亮在天顶，它更要和我们接近一些，我们应该在上面的数值中加入它的 1/60，所以最大值可达 34′多一点，这样更有利于形成中心食。如果在一次中心食的时候，日、月两轮中心重合，月轮超过日轮，这便形成全食；地面成了黄昏傍晚的情况，日珥、日冕、行星、明星都可以在暗蓝的天空中出现。但是日轮比月轮要大一些，月轮周围环绕着一圈耀眼的光环，地面也不太黑暗。在环食时，一般是看不见日珥或者日冕的。

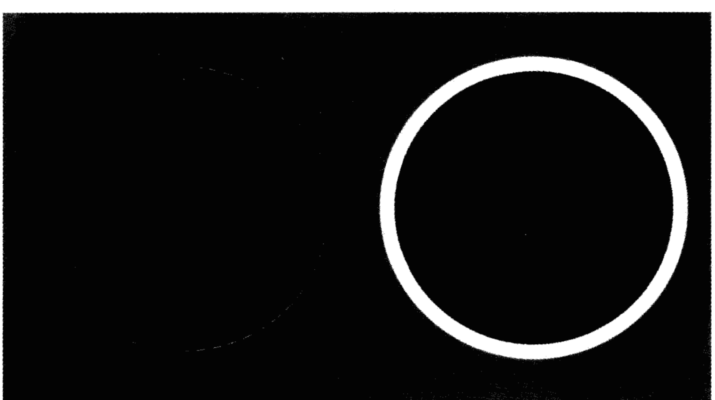


**图 197 中心食可以是全食或环食**

按照月轮完全掩盖日轮(左图)或不完全掩盖日轮(右图)而分。

关于日食的几何学只叙述了这一些，但为满足需要更进一步去了解的人，我们还要指出一点：日全食的时候，月亮的本影锥接触地面，假使地球是透明的，这个影锥的顶点应在观测者的脚下。至于在环食的情形下，本影锥的顶点在空中，仅是锥的延长部分接触地面，实际上，地面上并没有本影。只是在本影锥延长处和地面接触的一小区域里，人们看见环食，正如在真本影锥里的人们看见全食的情形一样。

中心食区宽度不过几百千米，它在地面上扫过的面积形成一个长带，叫做中心食带。凡是居住在这一带里的人，在一定的时间内都可看见中心食，换句话说，即全食或环食。当然，在全食带里的两个观测者，如果相距百余千米将不会同时看到全食。日食的路径一般是由西向东行。

在中心食带的两旁有一个较广的区域，人们在那里可以看见偏食，但在更远一些更广一些的区域，那里是看不见日食的。天文年历中对于每一次日食都有图绘出日食经过的区域(图 198)。天文工作者在事前很久便绘出这样的日食路径图，并预备派遣远征观测队到全食带天气晴朗、见食时间长的地方去，以免浪费大量的人力、物力。在后面的另外一章里，我们将要谈到太阳物理学或者就是物理学，从日全食的观测中得到了什么发现，为做这样的观测，科学家为什么不辞劳苦，常长征万里到全食带的地方去。

图 198 原载于《法国天文年历》，表示 1947 年 5 月 20 日的日食路径图。这次日食从阿根廷靠近安第斯山(Andes)的科迪勒拉(Cordillère)某地开始的，这是地球和月亮的半影锥接触的地点(幸而只是非物质的影子)。大约 1 小时以后，本影锥便和地面接触，接触点在智利海岸和胡安-费尔南德斯岛(Juan Fernandez)之间的地方，这便是全食的开始。黑影迅速地向东北方扫去，在圣地亚哥的巴伊阿(Bahia)附近经过南美洲。日食的中央发生在大西洋靠近赤道的地方，在南美和西非两海岸的中间。黑影在大西洋里经过约一个半小时，便达到几内亚湾的北岸，一直到喀麦隆，终于消失在东非的维多利亚湖和印度洋之间。这是全食的终了，月亮的本影射在地面上共有 3 小时 12 分之久。至于一般的食况，还可维持 1 小时之久，在非洲中部还可以看见，直至东经 26°、北纬 6°这一点，月亮的半影才离开了地球。半影形成的偏食现象，计有 5 小时 12 分之久。

这次全食最长达 5 分 14 秒，但可惜是在大西洋里。在非洲西岸如多哥(Togo)，全食时间也只有 4 分钟。但是即使这样短的时间，已足够使天文工作者完成他们繁重的观测计划了。最长的全食时间也仅有 7 分半钟。但是在最近 1 000 年内，还没有碰到过这样好的机会。1955 年 6 月 20 日的日全食，可算是最长的一次，因为它在中印半岛和菲律宾之间达到 7 分多钟。

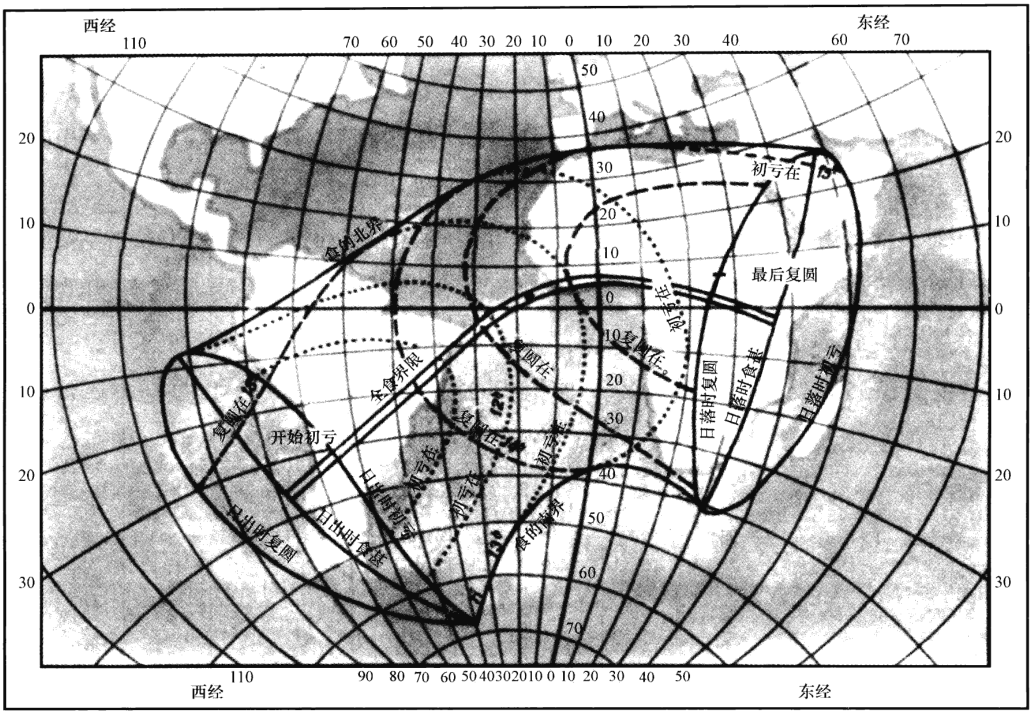



图 198 日全食图

1947 年 5 月 10 日的日全食，取自《法国天文年历》，月影扫过全食两界限中的一带；方向自西向东，外边两条线表示半影扫过的界限，例如在世界时 14 时，直径大约 180 千米的地方，占黑点所表示的位置，同时半影的界限是一个卵形曲线，自巴西至西非，一部分是点线，一部分是虚线，这条曲线的长轴约有 8 000 千米。

有时只是月亮的半影，而不是本影和地面接触，这时，就没有地方可以看见全食或者环食，而只能看见偏食。这类日食只对南北两半球高纬度的国家才有意义。

日食也和月食一样，有 18 年 11 日 8 时的周期，见食的地方也有变化。例如上面所说的于 1955 年在中国领海发生的特别长的日全食，是 1937 年全食期很长的那一次日食的重演，也是 1919 年的那次日全食的继续。那次日全食之所以著名，是因为在巴西和非洲的观测队测出了星光在太阳边沿的偏折，证实了爱因斯坦的相对论。

下表列出了 1940 年至 1975 年两个沙罗周期里的日食：

| 年 | 月 | 日 | 食况 | 年 | 月 | 日 | 食况 | 年 | 月 | 日 | 食况 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1940 | 4 | 7 | 环食 | 1952 | 8 | 20 | 环食 | 1964 | 7 | 9 | 偏食 |
| 1940 | 10 | 1 | 全食 | 1953 | 2 | 14 * | 偏食 | 1964 | 12 | 4 * | 偏食 |
| 1941 | 3 | 27 | 环食 | 1953 | 7 | 11 | 偏食 | 1965 | 5 | 30 | 全食 |
| 1941 | 9 | 21 * | 全食 | 1953 | 8 | 9 | 偏食 | 1965 | 11 | 23 * | 环食 |
| 1942 | 3 | 16 | 偏食 | 1954 | 1 | 5 | 环食 | 1966 | 5 | 20 * † | 全环食 |
| 1942 | 8 | 12 | 偏食 | 1954 | 6 | 30† | 全食 | 1966 | 11 | 12 | 全食 |
| 1942 | 9 | 10† | 偏食 | 1954 | 12 | 25 | 环食 | 1967 | 5 | 9 | 偏食 |
| 1943 | 2 | 4 * | 全食 | 1955 | 6 | 20 * | 全食 | 1967 | 1 | 12 | 全食 |
| 1943 | 8 | 1 | 环食 | 1955 | 12 | 14 * | 环食 | 1968 | 3 | 28 | 偏食 |
| 1944 | 1 | 25 | 全食 | 1956 | 6 | 8 | 全食 | 1968 | 9 | 22 | 全食 |
| 1944 | 7 | 20 | * 环食 | 1956 | 12 | 2 * † | 偏食 | 1969 | 3 | 18 | 环食 |
| 1945 | 1 | 14 | 环食 | 1957 | 4 | 29 * | 环食 | 1969 | 9 | 11 | 环食 |
| 1945 | 7 | 9† | 全食 | 1957 | 10 | 23 | 偏食 | 1970 | 3 | 7 | 全食 |
| 1946 | 1 | 3 | 偏食 | 1958 | 4 | 19 * | 环食 | 1970 | 8 | 31 | 环食 |
| 1946 | 5 | 30 | 偏食 | 1958 | 10 | 12 | 全食 | 1971 | 2 | 25† | 偏食 |
| 1946 | 6 | 29 | 偏食 | 1959 | 4 | 8 | 环食 | 1971 | 7 | 22 | 偏食 |
| 1946 | 1 | 23 | 偏食 | 1959 | 10 | 2† | 全食 | 1971 | 8 | 20 | 偏食 |
| 1947 | 5 | 20 | 全食 | 1960 | 3 | 27 | 偏食 | 1972 | 11 | 6 | 环食 |
| 1947 | 11 | 12 | 环食 | | | | | 1972 | 7 | 10† | 全食 |
| 1948 | 5 | 9 * | 全环食 | 1960 | 9 | 20 | 偏食 | 1973 | 1 | 4 | 环食 |
| 1948 | 11 | 1 | 全食 | 1961 | 21 | 5 * † | 全食 | 1973 | 6 | 30† | 全食 |
| 1949 | 4 | 28† | 偏食 | 1961 | 8 | 11 | 环食 | 1973 | 12 | 24† | 环食 |
| 1949 | 10 | 21 | 偏食 | 1962 | 2 | 5 | 全食 | 1974 | 6 | 20 | 全食 |
| 1950 | 3 | 18 | 环食 | 1962 | 7 | 31 | 环食 | 1974 | 12 | 13 | 偏食 |
| 1950 | 9 | 12 * | 全食 | 1963 | 12 | 5 | 环食 | 1975 | 5 | 11† | 偏食 |
| 1951 | 3 | 7 | 环食 | 1963 | 7 | 20 | 全食 | 1975 | 11 | 3 | 偏食 |
| 1951 | 9 | 1† | 环食 | 1964 | 11 | 4 | 偏食 | | | | |
| 1952 | 2 | 25† | 全食 | 1964 | 6 | 10 | 偏食 | | | | |

上表内的日期是格林尼治经度圈的日期。表中有 * 表示北京可以看见偏食，有 † 表示在巴黎可以看见日偏食。

由上表可见，自 1940 年至 1957 年一个沙罗周期里能见的日食是 41 次，和同一沙罗周期里的月食次数相等，其中有 27 次环食或全食，14 次偏食。另外，我们看过，在同一周期里月亮有 27 次本影食和 14 次半影食。这两个统计数字之相同是值得注意的，它足以说明月亮的半影食和日偏食是同类的。

自 1958 年至 1975 年的沙罗周期里应有 40 次日食，因为 1942 年 8 月 12 日的日食成

为半影食，而不再被人看见了，同样1971年7月22日的偏食也是一系列日食中的最后一个，于是这一沙罗周期里的日食数只有39次，成了最少的一周。3个世纪以前，曾有一沙罗周期里有日食47次之多。我们上面关于日食发生的次数以及两次连续的日食之间经过的时间的叙述，同样可以应用于月食。如果将日食和月食合并作为一种统计，我们可以得出下面这样一条规律：在一年里，至少有食4次，2次日食和2次月食；至多有食7次，月食4或5次，日食3或2次，或相反的日食4或5次，月食3或2次。要达到每年7食之数，第一次食必须发生在一月开始的11天内。这里和以前一样，我们把月亮的半影食当做月食看待，由此可见把半影食略而不计是不合理的。

研究一下在某个固定地方的见食次数也是有趣的事。在上表里可以看出，在巴黎，36年内见食15次，平均两年多见食一次。在巴黎，没有一次能看到全食或者环食，所以对于某个固定地方来说，中心食是很稀罕的现象。例如自公元600年以来，在巴黎天文台所在的地方只看见过两次日全食，即1406年6月16日的一次和1724年5月22日的一次。有一个故事和后一次日食有联系，据说在日食结束后，有一位侯爵伴着几个贵妇人走进巴黎天文台去，他对她们说："夫人们进去吧，卡西尼先生是我的好朋友，他会把日食再表演一番给你们看的。"还有一幅油画，画出一群巴黎人在天文台周围观看日食的情况，他们使用了各种各样的仪器，如漏斗、乐器，自然还有熏烟玻璃和盛水的桶。图上一颗行星，也许是金星，在黑暗的天空里闪烁(图199)。

1912年4月17日的日全食的中心食带差不多同时经过法国曼特农(Maintenon)、圣日耳曼·翁·雷、吕扎什(Luzarches)、桑利斯(Senlis)一带地方，巴黎看见很大的偏食；在食甚的时候，巴黎天文台所观测到太阳的直径只有0.004没有被食。这一次的日食实在奇特，在开始(委内瑞拉)和结束(西伯利亚)的时候，离地平线不远处见环食；在中午前后，于葡萄牙、法国、比利时等地见全食，因为那时月亮和地球接近了几千千米。1912年的全环食于1930年重演，极盛地点在加利福尼亚；它于1948年再次出现于朝鲜。1966年5月20日又有像这样的一次日食，在法国见偏食；此次日食的中心线比1912年的日食更接近赤道一些。

1961年2月15日的日食，在法国南部可见全食，巴黎能见食分最大的偏食；1999年8月11日，巴黎始见全食，全食时间不过是两分钟〔请参阅《天文学报》4卷1期中的《1951—2100年中国可见的日全食和月环食》一文。此外由紫金山天文台编写、科学出版社出版的《二百年年历表》中有我国今后可见日食情况的详细资料，可供参考。——校者注〕。

1900年5月28日，弗拉马里翁在西班牙观测了日全食，他留下了极生动的记载。我



图 199　1724 年在巴黎发生的日食
此图现藏巴黎天文台博物馆。

们现在引用几节于下：

“中心线经过阿利坎特(Alicante)附近，由于仅有 3 万居民的美丽小城埃尔切(Elche)晴天的可能性大，所以我选定了它做我的观测地点。

“我们的临时观象台设在好客的市长的乡间别墅的土台上，四周空旷没有障碍，天穹地平完全在望。在我们的眼前好像是一座阿拉伯的城市，周围有像生长着棕榈的沙漠中的绿洲；从阿利坎特流到穆尔西亚(Murcie)的河流蜿蜒在平原上，流进远处的蓝色的海里去；背后是一带不高的山，近处是花园和田野。几位卫兵维持着秩序，以便阻挡太多的好奇的人过来打搅我们。我的博学的朋友德・拉・博姆・普吕维内尔(De la Baume Pluvinel)在土台上装置了大量的仪器，他要用照相和分光的方法记录下现象的各个阶段，正在和他的助手们紧张地工作着。各种各样的仪器把这座田庄骤然间改变成了一所天

文台。

“日食开始的阶段还不使人感觉奇特。一直到日轮的一半被月轮掩盖的时候，大家才认识到自然现象的伟大。这时候我唤起站在庭前人们的注意，星星就要被人们看见了。我特别指出金星在天上的方位，我问眼力好的人是不是看见了，有8个人立刻说看见了。那时这颗美丽的行星正处在它最光明的时期，对于一位视力好的人，即使在白昼里也可以用肉眼看见它。

“大约当太阳的3/4被食去的时候，鸽子便飞回庄来，栖息在角落里不再移动，正如日食前一天黄昏时它飞回来一样。稍过一会儿，母鸡回到鸡窝，好像黄昏已经来临，孩子们也停止游戏，回到他们母亲的裙边。雀鸟迅速地飞回巢去。庭园里的蚂蚁表现出极度的骚动，茫然失去了行动的方向。蝙蝠也飞出巢来。

“15时50分。光线已很微弱，天空像铅那样的灰白，山岭从地平线的背景上惊人地凸出，好像和我们接近了一些。

“15时55分。气温降低，使人感觉到一阵冷风掠过。

“15时56分。大自然呈现出一片深沉的静寂，这静寂像是从天象而来。所有的人都没有说话。

“15时57分。光线大量减少，显得苍白而奇特，像是灾祸快来的景象。风景像铅一样的灰白，海水成了墨黑。这样的风光并不像每天夕阳西下后的情景。整个自然里充满了愁惨的气氛。过了一会儿人们就习惯了，人们虽然明知月亮掩盖太阳是一件自然现象，可是总难免有一种焦急不安的感觉。非常的景象快要到了。

“这时候我们研究最后的日光对于光谱七色的影响。为了决定日食光线的色调，我早就预备了七个纸板，上面涂着光谱上的鲜明的颜色：紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红，同样也预备了这些颜色的丝织物。这些颜色的纸和丝放在我们脚下的土台上。我们看见前四种颜色依次完全消逝了，在几秒钟之间，紫、靛、蓝、绿都相继变黑了。

“其余三色变暗不少，但仍然可以看见。

“我们必须说明，这和每天夜晚一般情况下所看见的现象是相反的：平常在红色消逝以后，紫色还看得见。

“这个实验证明，日食所发出的最后的光线是黄和红。这原是太阳大气里的主要色彩。

“我们验明这件事实以后，立刻又注视着太阳。这是怎样神秘而壮丽的景象啊！全食开始了，太阳不见了，月亮的黑轮完全把它掩盖了，在这个黑轮周围四射出光辉可爱的日

冕。人们或者以为这是一次环食，但是，日冕并不使肉眼疲劳，人们可以安然地观望，这是日冕与环食的不同之处。

“这种日冕光所形成的大气，围住了整个的日轮，厚度颇有规律，大约是太阳半径的1/3。

“日冕以外，还有一些散布更广但是比较黯淡的光辉，它们射出长长的光芒，这些光芒主要是来自太阳赤道的方向和黑子与日珥活动的区域。这些光芒在日轮上方显现出锥的形状，在下方变为双支，右边一支终于收缩成了一点；不远的地方，水星像1等星那样在发光，它好像故意停顿在那里，使我们可以用它去测定日冕的范围和方向。”

在结束这一章以前，我们还须提一提月掩星的现象。在理论上，这是和日食相同的现象。要观测这个现象，我们只需用一个带着低倍率目镜的大视场的望远镜，在月亮周围的天空进行探索；最好是把观测的时间选在娥眉月通过银河星区的时候（春天的夜晚便有这样良好的机会），如果你碰巧在望远镜的视场里看见一颗星接近于月轮，而且正处在月亮的路径上，那么你将看见月亮慢慢地接近这一颗星，把它遮盖住或长或短的一段时间；在我们这样纬度的地方，这时间可以长至一个半小时。因为月亮的运行是向东方，这在倒像的望远镜的视场里看去是向右方。在上半个月（即由朔至望），星的被掩（失明）常发生在月轮的暗的一边（因灰光的缘故，这部分还是隐约可见），过一会再从亮的弯月一边出现（复明），在下半个月，月亮发生亏缺的时候，失明在亮的一边，复明在暗的一边。月亮的中心到黄道的距离，即月亮的黄纬度，不超过$5°18'$。如果将月亮的视差和视半径计算在内，只有黄纬不超过$6°5'$的恒星，如毕宿五（金牛$\alpha$）、昴宿、轩辕十四（狮子$\alpha$）、角宿一（室女$\alpha$）、心宿二（天蝎$\alpha$）这些亮星才可以被月掩蔽。但是这些星没有一颗在每个月里都被月掩的，因为月亮的轨道平面（白道）是移动的。我们曾说过，白道和黄道的交点在迅速地逆行。一颗星要被月掩，必须在黄、白两个轨道的交点占有某一个固定位置。所有的行星都可以被月掩，因为它们都在月亮运行的区域内运行。图397表示1921年7月2日早晨，金星快被月掩的情形。行星的轮那时只有它的直径的1/4，在35秒的时间里，逐渐被月亮遮蔽。但是恒星的视直径实在很小，我们可以把它们当做是发光的点，它们的失明和复明都可当做是瞬间的现象，这样的忽隐忽现给了初次观测的人一种惊奇的印象。一个有经验的观测者不难将他所看见的这个现象的时间决定至0.1秒的精确度。在0.1秒钟里，月亮在天上经过$0''.05$，在它的轨道上运行了100多米，所以观测一次月掩星就可以很精确地决定月亮的位置。

自望远镜发明以来，特别是自17世纪末以来，人们曾经做了许多月掩星的观测，而且

把观测的结果记录下来。纽康(Newcomb)在1680年至1753年间做了100多次月掩星的观测，在巴黎天文台收藏的手稿本里可以找着这些观测的记录。这些可贵的数据和近代的观测联合在一起，就得到两个重要的发现：月亮的运动在百年来有一种长期的加速度，还有一种没有预料到的不规则的变化。我们在第一篇第二章内曾经说过，地球的自转有一种长期的变缓，即日子愈来愈长。这样的现象反映在月亮上，便是它的运行产生一种加速度。至于月亮运行的不规则的变化，也是地球自转的不规则的反映。自从发现这些事实以来，许多观测者将月掩星纳入他们的工作程序里，因此地球的任性自转，也不能逃避观测者的密切注意〔图200已被译者删去。——校者注〕。

# 第三篇　太　阳



图201 低层日冕与日珥

1927年6月29日用长11米的照相机拍摄，注意内层日冕的复杂结构和在日冕上月轮的显著轮廓（格林尼治天文台的照片）



图 202　**阿匹里(Apulien)式杯上太阳神的马车花纹**
现藏巴黎罗浮宫博物馆。

# 第十五章

# 主宰世界的太阳

太阳是光明、热量、运动、生命的来源，给人们以庄严美丽的印象。原始人把它当做神来崇拜，在任何时代里，它都受到人民的感激和敬仰。一般人爱它，因为感觉它的力量伟大；科学家喜欢研究它，因为知道它对行星世界的重要性；艺术家欣赏它，因为从它的光辉里可以看出一切和谐的根源。它从天上把能量发射到我们小小的地球上，以至到辽远的冥王星和黯淡飘荡的彗星上。如果没有日光的照射，这一切星球都会变得寒冷以致死亡。

这些能量从太阳四周发出，以不可想象的速度在空间里传播。它只需要 8 分钟，便越过太阳和地球间的深渊，这种每秒 30 万千米的飞跃，真是不可思议呀！

把地球当做直径为 1 米的球，太阳的直径将是 109 米，我们从这个比喻里就已经感到太阳的伟大。如果我们把人类智慧所造成的大圆顶室（如佛罗伦萨的圆顶直径 46 米，罗马圣彼得教堂的圆顶直径不及 43 米，巴黎废兵院的圆顶直径 24 米，法国国葬院的圆顶直径只有 20.5 米）和这 109 米直径的大球比较，那么这个球之大就可以想象了。如果将太阳比拟为巴黎废兵院的圆顶那样大，那么地球就会缩小为直径为 19 厘米的球体了〔北京天文馆大圆顶的直径为 25 米，如果这代表太阳的直径，那么地球大约只相当于一个足球的大小。——校者注〕。

当然，太阳的质量和它的体积成正比，像我们这样的地球，要 33.25 万个才能够等于一个太阳的质量。这团巨大质量的星球把所有的行星管辖在它的权力之下。如果不认为是亵渎的话，我们很可以把太阳比做住在蜘蛛网当中的蜘蛛。它控制住它周围的世界，好像它们是在它周围转动的玩物一样。我们把伟大的太阳和它周围渺小的星球比较一下。下面的几张表，虽然是由数字组成的，却也很有意义。且先看太阳系的一般情况：

**行星到太阳的距离和公转周期**

| 行星 | 到太阳的距离 | | 公转周期 |
|---|---|---|---|
| | 以日地间的距离为 1 | 单位：万千米 | |
| 水星 | 0.387 | 5 800 | 88 日 |
| 金星 | 0.723 | 10 800 | 225 日 |
| 地球和月亮 | 1 | 15 000 | 365 日 |
| 火星（2 个卫星） | 1.524 | 22 800 | 1 年 322 日 |
| 木星（12 个卫星） | 5.203 | 77 700 | 11 年 315 日 |
| 土星（10 个卫星） | 9.555 | 143 000 | 29 年 167 日 |
| 天王星（5 个卫星） | 19.218 | 288 000 | 84 年 7 日 |
| 海王星（2 个卫星） | 30.110 | 450 000 | 164 年 280 日 |
| 冥王星 | 39.6 | 590 000 | 250 年 |

上表不需要解释已很明白。我们看到，最远的冥王星到太阳的距离为地球距离太阳的 40 倍，为水星距离太阳的 100 倍。因为光和热是随距离的平方而减少的，所以最远的冥王星所接收的光和热仅为最近的水星的万分之一。同时，我们也看到，冥王星上的一年等于我们的 250 年，等于水星上的 1 000 多年。现在再考察一下太阳系内主要成员的大小和质量，按递减的次序排列如下表：

**大小和质量的比较表**

| | 直径 | 体积 | 质量 |
|---|---|---|---|
| 太阳 | 109 | 1 295 000 | 332 500 |
| 木星 | 11.2 | 1 310 | 317 |
| 土星 | 9.4 | 742 | 95 |
| 天王星 | 4.0 | 64 | 15 |
| 海王星 | 3.5 | 43 | 17 |
| 地球 | 1 | 1 | 1 |
| 金星 | 0.96 | 0.87 | 0.81 |
| 火星 | 0.53 | 0.15 | 0.11 |
| 水星 | 0.37 | 0.051 | 0.053 |
| 月亮 | 0.27 | 0.02 | 0.012 |

**太阳系成员的密度**(以水的密度为单位)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 水星 | 5.8 | 海王星 | 2.1 |
| 地球 | 5.5 | 太阳 | 1.4 |
| 金星 | 5.1 | 木星 | 1.3 |
| 火星 | 3.8 | 天王星 | 1.2 |
| 月亮 | 3.4 | 土星 | 0.7 |

这些数字也不需要作什么解释。我们看到，如果以地球的直径为单位，木星的直径便为 11，水星的直径只是地球的 37%，或者说 0.4。太阳的质量以 33.25 万那样大的数字代表，至于水星，其质量不过是地球的0.05，海王星却有我们的地球的 17 倍之多。从质量和体积，我们容易算出组成这些星球的物质的密度，换句话说，就是单位体积内所含的质量。

上表表明，太阳系里的成员，其组成物质最密的是水星，最稀的是土星，它还不及水的密度。

在上表中，我们没有谈到在火、木两星之间运行的小行星。这些小行星也许是一颗大行星的碎片，其中的大多数直径不过几千米或者几百米。我们已经发现的小行星有 1 600 多个。

读者如果仔细研究代表太阳系全体的图 203、204，便会得到你们对于太阳系想要得到的知识。图内行星的轨道是依次序按比例尺绘制的。

这两个图使人感到无穷的兴趣。我们生息运转在第三个圆圈上，离发光的焦点可算不远，但是为什么我们不像围绕灯火的飞蛾那样眼盲体灼呢？

仔细考察一下这幅太阳系宇宙的图案，便容易看出行星轨道的大小不是完全合乎一种规律的。你不会感到从天王星到海王星的距离太短了吗？事实上，它是和土星到天王星的距离相同的，这样便破坏了别的行星之间的距离按比例递增的情况。天文学家提丢斯(Titius)在 18 世纪即注意到这一点(波得刊布了这个法则，故用他的姓命名这个定律)，这个定律的意思是说，行星至太阳的距离，顺次可用一个很简单的级数表示。我们先写下以 2 为公比的以下一系列数字：

3,6,12,24,48,96;

在上列数字前面添上一个 0，然后再在每个数字上加 4，即得

4,7,10,16,28,52,100。

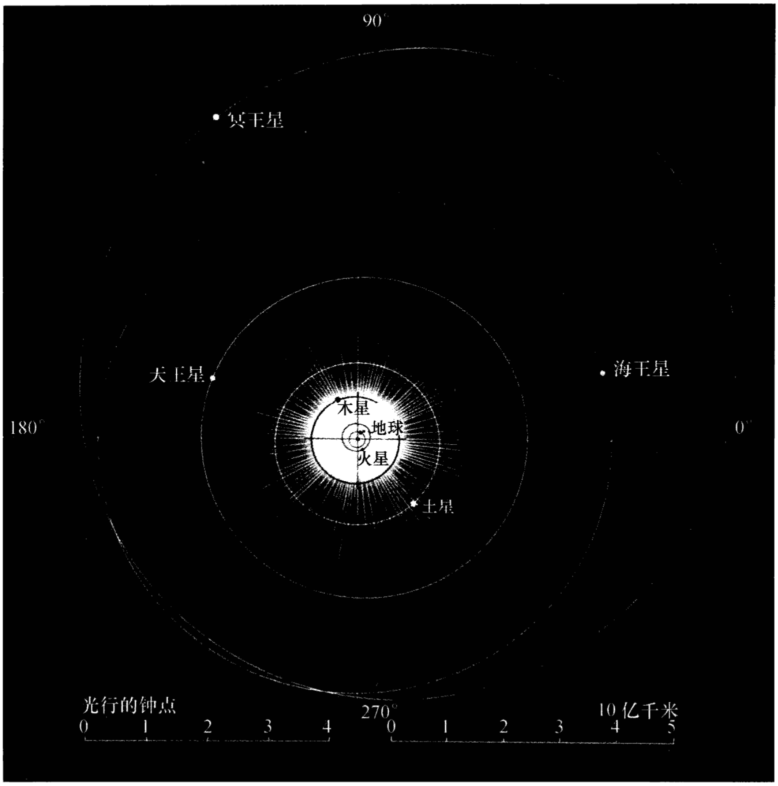



**图 203 太阳系**

由地球到冥王星(按轨道的大小比例和偏心率描绘,关于水、金两星见下图)。

如果把地球和太阳之间的距离用 10 表示,其他行星到太阳的距离便可以用这一系列数字表示:

| 水星 | 金星 | 地球 | 火星 | 小行星 | 木星 | 土星 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.9 | 7.2 | 10 | 15 | 27(平均值) | 52 | 96 |

在这个规律发现以后,天王星的距离经人算出为 192,与由这级数所求出的 192+4=196 相差不远。可是海王星的距离却不是 384+4=388,而是 301,也就是说,实际上是太靠近太阳了。冥王星的距离为 396,好像应该代替海王星,它居于第九位。

万有引力使太阳系内所有的星球都绕太阳而运行。愈接近太阳的星球运行得愈快。正如我们在讨论月亮那一节里所谈到的那样,星球因绕太阳运行的速度产生了一种离心力,这种力量使它离开太阳,而太阳的引力使它接近太阳,两者恰好彼此抵消,因此这个星球永远维持在平均距离那样远。我们在讨论月亮围绕地球的运动那一章里,谈到牛顿研

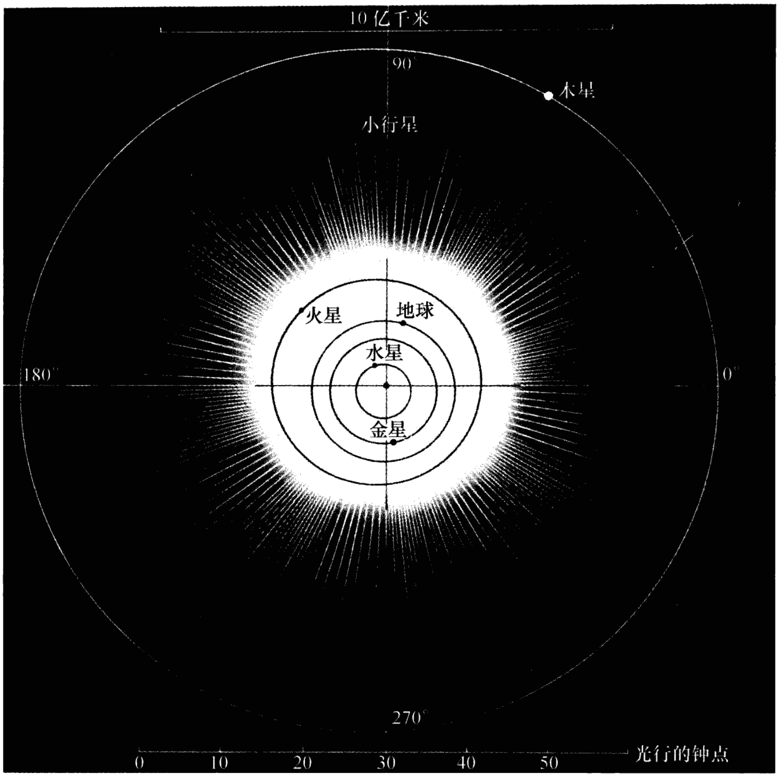



**图 204　太阳系**

由水星到木星(注意水、火两星轨道的偏心率很大)。

究天体运动的原因,我们看到,万有引力按距离的平方而减少。在两倍远的距离,引力减少到 1/4;在三倍远的地方,引力减少到 1/9,等等。因此我们很容易在各行星所在的距离处计算太阳引力的大小。下表列出了行星在 1 秒钟内离开直线运动的距离,换个比喻说,也就是把一个石块放在各个行星那里,会向太阳坠落的距离。

**在第一秒钟里,向太阳坠落的距离**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 在太阳面上 | 137 米 | 在木星的距离处 | 0.11 毫米 |
| 在水星的距离处 | 19.6 毫米 | 在土星的距离处 | 0.032 毫米 |
| 在金星的距离处 | 5.6 毫米 | 在天王星的距离处 | 0.008 毫米 |
| 在地球的距离处 | 3.0 毫米 | 在海王星的距离处 | 0.003 毫米 |
| 在火星的距离处 | 1.3 毫米 | 在冥王星的距离处 | 0.002 毫米 |

可见,一个未经抛掷的自由落下的石块,如果是从太阳表面出发,在第一秒里它会坠落 137 米;可是,如果从地球的轨道上任何一点出发,它不过移动 3 毫米;如果从冥王星的轨道上任何一点出发,它只移动 2 微米。如果这个石块从各个行星的轨道上直落到太阳

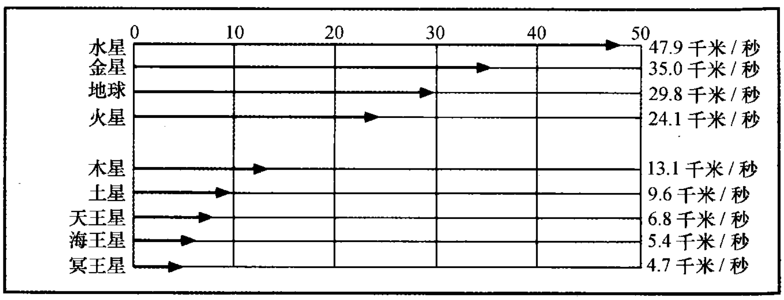
上去被化为灰烬，它在途中所需要的时间也不难计算，现在把这些数字列表如下：

**从各行星坠落到太阳上所需要的时间**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 水星 | 15 日 | 火星 | 121 日 | 天王星 | 15 年 |
| 金星 | 40 日 | 木星 | 766 日 | 海王星 | 29 年 |
| 地球 | 65 日 | 土星 | 5 年 | 冥王星 | 44 年 |

如果读者要想更精确地自己求出这些数字，可以用 32 的平方根，即 5.656 854 2 去除每颗行星的恒星周期。

**行星围绕太阳公转和速度(千米/秒)**




行星在它们转道上的速度同它们与太阳的距离有关，由此速度所产生的离心力总是永远和太阳的吸引力相平衡。我们已经知道地球的公转速度是每秒 30 千米。上表列出了主要行星的平均速度〔我们不难证明，这些速度同行星与太阳之间的距离的平方根成反比〕。假使一颗行星在运行中忽然被阻挡住，它的动能立刻变为热，由于它的物质挥发而发生爆炸。大陆和海洋均变成一团炽热的云雾，造成了一团星云。

在讨论地球运动的那一章里，我们曾经说过，地球绕着太阳在椭圆轨道上运行，我们也知道牛顿怎样因分析月亮的运动而发现了引力定律。现在我们知道，这个定律可以应用于整个太阳系。我们现在来叙述开普勒(Kepler)所发现的定律：

1. 行星围绕太阳运行的轨道是椭圆，太阳在这个椭圆的一个焦点上。

在讨论地球绕太阳的周年运动里，我们已经仔细地研究过这种运动，我们刚才又看到，一切行星都和地球一样，也绕着太阳运行。

2. 连接太阳和行星的向径线所扫过的面积，和所花的时间成正比。

现在来讨论一颗行星，试在它的轨道上的几个位置(图 205)描出在等时间内(例如 30 天)所走过的弧 *AB*、*CD* 和 *EF*。

行星的速度随它在轨道上的位置而变化。在平均距离 *SA* 那个位置的时候，它是按平均速度在运行。当它接近太阳，如像弧 *CD* 上那些位置时，它的速度极大。当它远离太

阳，如像弧 $EF$ 上那些位置时，它的速度极小。所以地球在它的轨道上运动的速度不是均匀的，当地球在近日点的时候（1 月 2 日），它的速度达每秒 30.27 千米，可是当它在远日点的时候（7 月 2 日），这个速度只有每秒 29.28 千米。在相等的时间内所走的弧线，当行星愈远离太阳时愈短；但是，如果两条向径线（如 $SC$ 和 $SD$，$SE$ 和 $SF$）之间所包括的面积是相等的，当运行速度变小时，向径线就会长些。这是一件奇特的事实。例如地球由 $E$ 到 $F$ 和由 $C$ 到 $D$ 所用的时间相等，可是弧 $EF$ 比弧 $CD$ 却短得多。这些向径线所扫过的面积和所用的时间成正比：如果所用的时间是 2、3 或 4 倍长，那么所扫过的面积也是 2、3 或 4 倍大。

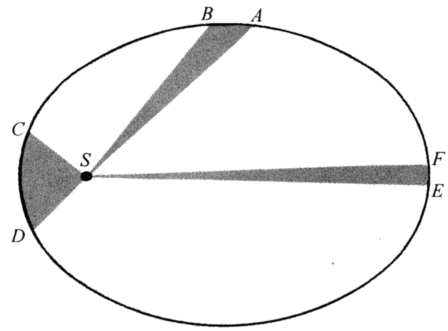



图 205　**行星的椭圆运动和面积定律：$AB$、$CD$、$EF$ 三段弧都是在相等的时间内所走过的，有阴影的三个面积是相等的**



图 206　**开普勒**（1571—1630）

认识开普勒第三定律对于确切明了行星的运动是必需的，它是这样的：

3. 行星绕太阳运行的周期的平方和它们轨道长轴的立方成正比。

这个定律是基本的，因为它把所有的行星都联系起来。

行星离太阳愈远，或者说轨道的直径愈长，它的周期也愈长。按离开太阳的距离去排列行星和按它们公转周期的长短去排列行星，其次序是相同的，不过两者不是按比例增加，周期比距离增长得要更快些。

例如，海王星离太阳的距离为地球离太阳的距离的 30 倍。将 30 连乘三次，我们便得 2.7 万。可是海王星的公转周期为 165 年，只需 165 连乘两次，便得 2.7 万（这只就大概的数字来说，因为海王星的公转周期既不恰是 165 年，距离也不恰是 30 个日地间的距离）。所有的行星都有这样的关系。行星的卫星，例如木卫，也遵循同样的定律。



图 207　克莱罗(1713—1765)



图 208　欧拉(1707—1783)

可见行星的公转周期是被它和太阳之间的距离规定的。愈远的星球运行得愈慢。

这三个定律以发现人开普勒来命名,我们还可在它们上面再加上一个补充它们和解释它们的第四条定律,那便是牛顿根据开普勒的工作所发现的万有引力定律。这个定律已经在讨论月亮运动的一章里说过,现在重说一遍:

物质互相吸引,其强度与质量成正比,并与距离的平方成反比。

不论这种引力是物质本身具有的性质,或者仅仅是为了解释天体运行的一种假说,事实说明一切物体实在有这种超距互相吸引的效应。这种引力与距离的平方成反比,那就是说,距离愈远,引力愈小,但这并不是按简单的比例,而是与距离的平方成反比例。一个物体在两倍远处,引力便为原来的 1/4,在三倍远处,引力便是原来的 1/9,等等。

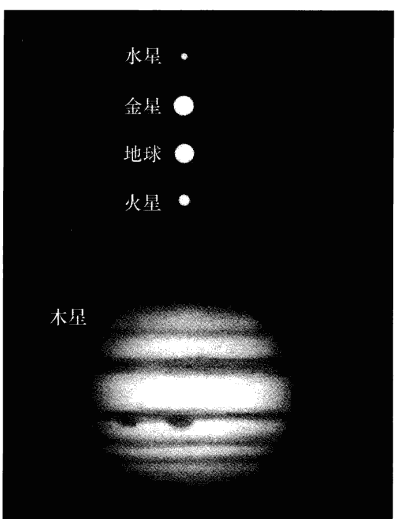
这种天体间的相互吸引力只规定了它们的运动,而不是形成了这种运动。行星的公转运动无疑应从原始星云的分离而来。

分析到最后,一切都归之于两个原因,或者两种力量。一种力便是重力或者吸引力,这是两个物体、两个星球互相吸引的趋势,这种趋势是和两个物体的质量成正比并和它们之间距离的平方成反比的。这种力量使得地面的物体坠落,也就是造成重量的原因。假使只有吸引力,月亮便会和地球并成一体,以不断增加的速度,一起落到太阳上去。组成太阳系的行星和一切物体都会结成一团,那么宇宙早变成混沌的情况了。

可是除了这种向心的引力之外,每个行星还有另外一种力量,假使只有后一种力量,那么行星会沿着其速度所决定的直线方向飞离太阳:这是一种惯性力。牛顿利用几何学和分析数学,把这两种力量综合在一起,定出它们同时作用所造成的运动,于是证明,这种运动所遵循的定律和开普勒所发现的定律是符合的。毫无疑问,在我们思想里,只有运动

和解释运动的力。首先我们要明了事实的性质，并加以描写，然后才有理论。理论的正确性决定于它是不是能够说明事实，是不是能够使由理论推出的结果和观测的结果相符合。但是，我们不应该把理论引入的力看成是用形象表示现象的一种精神创作，而同时应看成是预言现象的一种方便的方法。

一门名叫**天体力学**的科学在牛顿所奠定的基础上建立起来。由于这门科学的研究，天体受万有引力而运动的理论已经得到各种各样的结果。要想了解行星运动的各种细小情节，只计算太阳对于每一颗行星的吸引力是不够的，同时需要讨论行星间的相互吸引力。如果我们将行星的相互吸引力略而不计，那么我们就会再得到开普勒定律，可是这些定律并没有严格地表现事实，因为每一颗行星受其他行星的吸引，因而会稍微偏离这些定律所规定的路径。我们把这些差异叫做**摄动**。摄动虽然很小，但仍没有逃脱从前大观测家的注意，如开普勒已经察觉木星和土星的运动不十分遵循他的定律。天体力学完全解决了这些困难。杰出的数学家，如牛顿、克莱罗(Clairaut)、欧拉(Euler)、拉格朗日(Lagrange)、拉普拉斯、勒威耶(Le Verrier)、纽康等把摄动的计算搞得十分完善，我们从这些大学者手里得到精密的方法，可以预先算出主要行星的位置。当我们谈到最远的行星海王星和冥王星的发现的时候，我们还要详细讨论到这个问题。



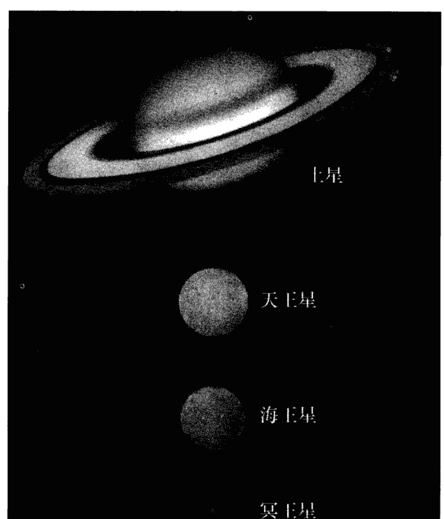




图209和图210　九大行星大小的比较

现在我们已经明白行星环绕太阳的运动。卫星环绕它们所隶属的行星的运动，也同样遵循开普勒定律。但是太阳系里不只是有太阳、行星和卫星，还有彗星，它们的运动也遵循开普勒定律。彗星的轨道大部分是极长的椭圆，这些轨道的远日点远在冥王星轨道

之外。哈雷彗星可远到为日地间距离的 35 倍(海王星可远到 30 倍,冥王星远到 39 倍),还有别的彗星可远到 10 倍乃至 100 倍之处。太阳引力的影响是不是到那里便停止了呢?不,这种影响传播到空间,直到进入另外一个太阳的引力圈以前并不消失,其距离不是几十亿千米,而是几十万亿千米之外。

每一颗星,或者每一颗太阳,就这样地管辖着行星世界,这些行星也就在它周围的光辉和权力下运转。空间里难以数计的太阳,就互相悬空在万有引力这种非物质的结构里。

宇宙是多么伟大、多么和谐呀!一种普遍的运动挟带着无限空间里的"原子"(星球),而且按照一定的规律进行着,就像钟表面上绕中心而转动的指针,又像静水里受到一点打击就在它周围展开的圆形波浪。这种宇宙里的和谐的音乐不是人类的耳朵所能听见的,诚如毕达哥拉斯所说,只有凭借智慧的探索,才能够欣赏它的美妙。

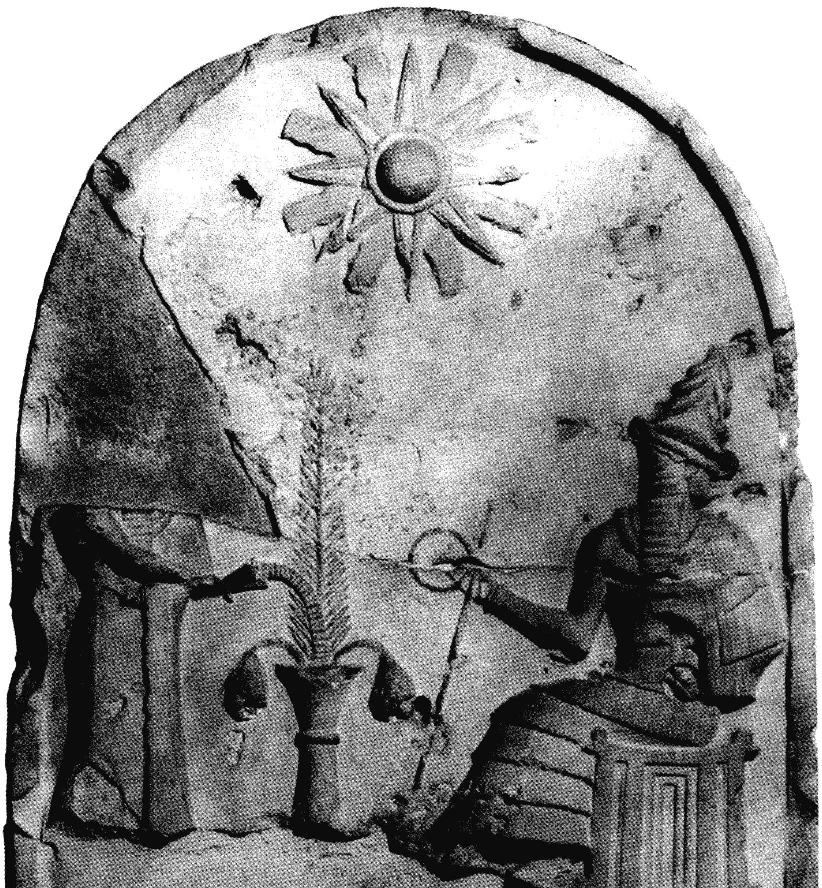


**图 211 皇帝向太阳神献礼**

美索不达米亚的纪念碑顶,现藏罗浮宫博物馆。



图 212　古埃及关于太阳的神话

左图：皇族崇敬太阳；中图：夜神把太阳交给昼神；右图：被太阳再造了的灵魂。

# 第十六章

# 怎样测量太阳的距离、大小和质量

上面所说到的关于太阳系大小的一切数字，都依据太阳到地球的距离的测量。这真可算是宇宙里的米尺。前一章说过的行星距离的相对比值，可以不需要先测量它们的绝对值便可以决定。哥白尼便是这样做的，他先从观测决定行星的相对距离，以太阳和地球间的距离为单位去表示，这是他的前人所未曾知道的。如果我们没有测定日地间距离的绝对值，我们便不能把行星距离表示为若干千米。例如我们说过最远的冥王星的距离等于日地间距离的 39 倍，最近的恒星等于这距离的 27 万倍，但是要把这些距离表示为绝对数字，我们就应该把这个单位测定，并用千米来表示。所以无怪天文学家都很看重这个天文单位的测定。

读者也许还记得，月亮距离的测定是由地上相隔相当远的两点对它同时做观测。这两点便是已知长度的底线的两端，问题便成为已知两个角和一共同边去作出三角形的作图题了。这是一个很容易解决的问题，我们已经说过了。原则上，这种方法也可应用于太

阳，但在实际上，从这方法所得的结果却不太好。因为太阳距离我们为月亮距离我们的400倍，因此从测量角度而来的视差效应也仅为后者的1/400，但观测上微小的误差却会造成很大的影响。为了避免这种困难，我们应该把这种三角测量的方法大加修改，才可以获得准确的结果。

我们刚才提到了"视差"这个名词。在第二十三章里，我们说到的月亮的视差，是一位假想的观测者在月亮里定出的地球的视半径，或者说真半径所对的角。这个定义也适用于太阳系里任何一颗星，换句话说，太阳或者行星的视差，便是在太阳或者行星定出的地球的视半径。星愈远，它的视差愈小。地球的大小是由大地测量测定了的，测出一颗星的视差，便可量出这颗星的绝对距离。如果我们明了了这一点，以后所说的就很容易了解了。

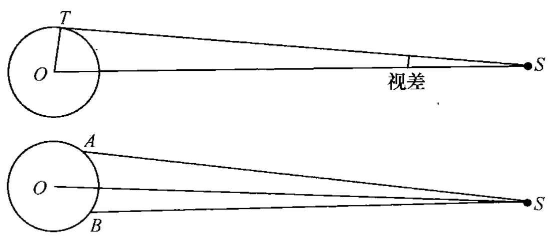


图213 视差的定义

左边圆圈代表地球，$S$代表太阳或行星，上图的角$OST$即是视差；下图表示视差可由角$ASB$的测量求得。

假设$O$代表地球的中心(图213)，观测者在太阳的中心$S$，所谓太阳的视差，按照刚才所说的定义，便是$OST$这个小角。在讨论月亮时，我们曾经说明，从地球上已知经纬度的两点$A$和$B$，由两位观测者同时瞄准$S$点，便可求出$OS$那段距离。如果知道$OS$和地球的半径$OT$，视差的计算便不困难了。我们不把详细的计算在这里叙述，读者可以相信这只是几何学上的一个简单问题。距离$OS$的绝对数值和太阳的视差之间的互相换算是没有什么困难的。在天文常数表内常列有太阳的视差，而不把它的距离表示为若干千米，就是这个原因。

这个视差是怎样测定的呢？首先我们暂时放弃对太阳做直接观测，我们观测的对象应该是离我们最近的行星，因为它有比较大的因而容易测得的视差。因为行星距离太阳和地球的远近，就相对数值说，是已经知道的，只需要求得一颗行星的距离的绝对数值，别的行星的绝对距离便很容易算出来。直至19世纪，在最近的行星中，我们只用了在下合时的金星和冲日时的火星。那时，要测的距离只是太阳距离的1/3或1/4，行星的视差比太阳的视差要大3或4倍，观测便会容易一些。1672年，卡西尼使用三角法去测量火星的视差，他把他在巴黎天文台所作的观测和特别派遣到南美洲卡宴(Cayenne)去的里奇(Richer)所做的观测加以综合研究，求得了火星的视差是25″。因太阳的距离和火星的距离大约是8比3，于是卡西尼推出太阳的视差大约是9″。

这个结果的影响很大，因为它推翻了当时对太阳系大小的观念。哥白尼、第谷和开普勒都以为太阳的视差是 3′或者 180″。视差下降为 9″，就把太阳的距离弄远了 20 倍，于是太阳系里的一切天体的距离和体积都扩大了。

现今的测量证实了卡西尼的数值，因为现在公认的太阳的视差是 8″.8。可见，卡西尼和里奇的观测，就其时代来说，精确度之高是值得称赞的。在太阳那里测量地球，它的视直径只有 18″。要明白这个角度究竟是怎样的小，读者可把一个足球放在 3 千米以外去看它，想象它的直径所对的角度有多大。如果不借助望远镜，这样远的一只球简直看不出有圆的轮廓，好像从地球上看金星或者火星那样，只是一个光点罢了。除了天文学所揭示的一切伟大之外，这一点却可使我们人类谦逊一些：在伟大的行星空间里，地球不过是一粒尘埃。在行星的行列里，它只占平凡的地位，它唯一优越有利的地方，便是不太接近太阳而变成一座炉灶，也不太远离太阳而变成冰冻的世界，所以我们人类才能够在它上面生活。

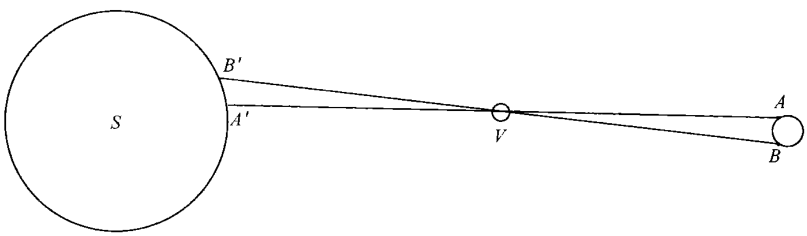
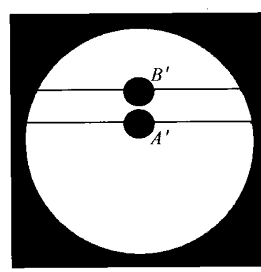



图 214　利用金星凌日测量太阳的视差




18 世纪初，英国天文学家哈雷（哈雷彗星就是以他的姓来命名的）建议一个巧妙的方法，可以很精确地测定太阳的视差。这个方法是利用金星过日面（金星凌日）的现象，在地球上的几个地方测定这颗行星由东至西穿过日轮所用的时间。

在金星凌日的时间里，金星的圆轮在太阳的圆轮上，形成一颗直径大约 1′的黑点（大约是太阳直径的 1/30）。地球上两地的观测者 $A$ 和 $B$，由于透视的缘故，同时看这颗行星并不投射在太阳面上相同的一点。当 $A$ 看见金星的中心在 $A'$ 的时候，$B$ 却看见它在 $B'$（图 214）。如果我们定出 $A'B'$，则三角形 $ABV$ 便容易做出。这便是哈雷所建议要解决的问题。直到这里，哈雷的方法和卡西尼的方法可以说是相同的；但是，哈雷方法的特点和优点，在于他所推荐的测量的方式。在金星凌日的时候，$A'$ 和 $B'$ 两点在日轮上各走一条弦线，这两条弦线的长度不相等，因此 $A'$

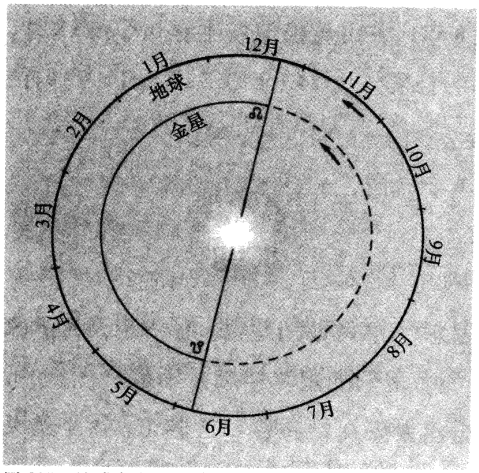



图 215 地球和金星的轨道平面相交在一条直线上，要使我们看见金星的圆轮投射在太阳的圆轮上面，应当是金星在下合的时候恰好通过轨道的交点，这时正是 12 月 9 日或 6 月 6 日，但这是极罕有的事情

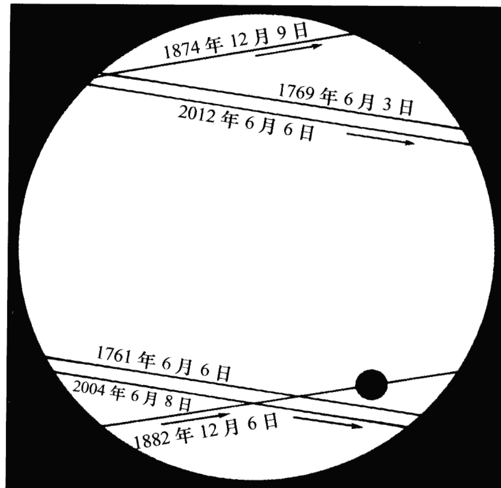



图 216 过去四次、将来两次金星凌日的路径，黄道在水平面上

和 $B'$ 两点在这两条线上走过所需的时间也不相等。每一位观测者在他的钟表上仔细读出金星进入和走出日轮的时刻，于是算出金星经过日面的时间。由 $A$ 和 $B$ 两位观测者所求得的时间的差异，我们就可算出这两条弦线的长短的差异，而终于求出 $A'B'$ 的长短。由此再推求太阳的视差便没有什么困难了。在哈雷的时代，钟表比测量角度的仪器要精确一些。所以用测量时间去代替测量视高度的方法更有利一些。1874 年 12 月 9 日的金星凌日，在印度洋的凯尔盖朗(Kerguelen)经历 4 个小时，在西伯利亚的堪察加(Kamtchatka)经历 4 个半小时。如果我们将金星凌日出入日轮的时刻测准至几秒，我们便有希望将视差测定到一个很准确的数值。不幸金星凌日是很稀罕的现象，哈雷知道在他的一生中不能观测到这种现象。哈雷的方法，直到现今，只用过四次：

| | |
|---|---|
| 1761 年 6 月 6 日 | 1874 年 12 月 9 日 |
| 1769 年 6 月 3 日 | 1882 年 12 月 6 日 |

金星凌日常是两次为一组，其间相距 8 年；各组轮换地发生在 6 月和 12 月，在相继的两组间相隔一个多世纪。将上列的日期加上 243 年零 2 或 3 日，我们便得到将来金星凌日的日期：

| | |
|---|---|
| 2004 年 6 月 8 日 | 2117 年 12 月 11 日 |
| 2012 年 6 月 6 日 | 2125 年 12 月 8 日 |

很自然，18世纪的金星凌日，曾被天文学家急切地期待过，有一些天文学家还作了长途的旅行，到地球上各处去做观测。他们的观测结果并不都是优良的，潘格雷(Pingré)只得选择其中最好的，定出太阳视差的数值为 8″.8。这个结果并没有立刻被人承认，但是最后终于被大家公认。这个数值现在已经被记载在一切天文学的书籍中了。

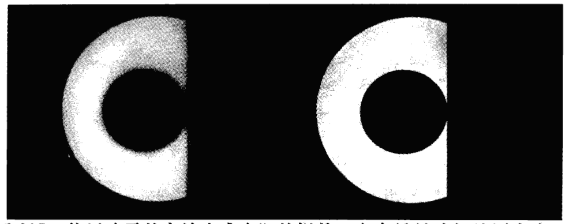


图 217　使用哈雷的方法去求太阳的视差，应当尽量确切地测定金星出入太阳时这两轮内切的时刻，但是由于望远镜的衍射现象，两轮的边沿模糊，便使这种观测困难而不确定。右图：金星和太阳的边沿正相内切；左图：同一现象在口径 2 厘米的望远镜所看出的情况。衍射效应和口径的长短成反比

在法国天文学家勒让提(Le Gentil)的生活里曾发生一段关于18世纪的金星凌日的动人故事。这位天文学家于1760年搭船赴印度，想到那里去观测1761年6月的金星凌日。可是，那时英法两国正在海上作战，便阻碍了勒让提的行程，他到达目的地的时候，凌日的时期已经过去了。因为热爱天文学的缘故，他便英勇地决定留在印度的本地治里(Pondichérry)，等待8年，观测1769年下一次的金星凌日。因为那地方在6月里气候经常是良好的，他对于他的成功具有很大的信心，于是他在那里修造观测站，装置仪器，学习本地的语言，且研究印度的天文学，终于等到他认为是幸运的一年，整个5月里和6月的前两天，太阳都照耀得异常光明。可是在期待了8年的那一天，天气忽然变坏，正当金星凌日的时候，暴风突起，雷雨交加，连太阳的影子也看不见了。老天好像故意在开玩笑似的，在金星退出日轮几分钟以后，天气转晴，日光又普照大地。勒让提既已饱受热带气候的影响，又遭遇观测的失败，垂头丧气，病倒床褥。他感觉没有兴致，不给朋友通信。1771年，他扫兴地转回法国，才知道在他音讯断绝期间，大家以为他早已客死异乡，他在科学院的院士位置的遗缺，已经被人补上，他的财产已经被人承袭。他起诉法庭，据当时的法庭批复说：法庭按法律处理，即已经被认为死去的起诉人，便无权再拥有他已经被人承袭了的地位和财产了。他反而还要付出这场官司的诉讼费，这样更使得他一贫如洗了。

在1874年和1882年两次金星凌日的时候，有许多远征队被派遣到世界各地去观测。没有一位天文学家遭遇着勒让提那样的不幸，虽然也有几位天文学家像他那样的失败而归。但是根据所搜集的大量数据，纽科姆定出一个很可靠的太阳的视差，数值是 8″.794。1874年那一次，法国派遣的观测队到了长崎、北京、西贡、太平洋的努美阿(Nouméa)岛、印度洋的圣保罗岛和摩里斯岛。1882年的一次，法国又派出11个远征队，从北非到墨西哥，从美国到智利，都有人在观测。



图 218　1874 年金星凌日的纪念章

是不是我们需等待到 2004 年 6 月 8 日再去作下一次的太阳视差的测定呢？不，因为人们已经发现有比金星凌日更好的方法，我们敢预言，将来的金星凌日不会像过去的 4 次那样引起天文学家的兴趣了，也许人们注意的对象会转移到金星的物理性质的观测上去了。

现在我们大略叙述一下现今测量太阳视差的主要方法。卡西尼应用于火星的直接测量的方法还没有被人放弃，只是今天观测的对象是和地球有时靠得很近的小行星。大多数小行星运行在离地球比火星还远的空间里，可是也有少数例外，譬如 433 号小行星，名叫爱神星的，有时距离地球只有地球和太阳间距离的 1/7，这约相当于火星或者金星最近时的 1/3。事实上，这种最接近的时期，需经过 30 年才有一次。例如在 1900—1901 年冬季以后，又在 1930—1931 年冬季，都曾测量过爱神星的视差。在这两次冲日的时候，有几个月，爱神星在望远镜里都像恒星的形态，全球主要的天文台都将它和它周围的星野一并拍照。这样拍得的照片有数百乃至数千张之多，都仔细加以测量，将这些测量结果，又加以总的计算。最后的结果，即太阳的视差数值，是经过十多年辛勤的整理才推算出来的。1930—1931 年的观测结果是 8″.790。

我们知道，地球的赤道半径长 6 378 千米。如果取太阳的视差为 8″.790，那么日地间的平均距离便是 1.496 75 亿千米，以整数表示，可说是 1.5 亿千米，约等于 1.17 万个地球的直径。换句话说，如果要在地球和太阳之间修一座桥，需要像我们这样的地球接连成串地并排 1.17 万个。

还有另外一个绝对不同的方法，用它亦可求出同样的结果。我们知道，光线由一点射到另一点是需要时间的，譬如从木星到地球，随观测时期的不同，需要 35 分钟至 50 分钟不等。木星的卫星被木星掩蔽，当相冲之时，即木星离地球最近时，这个现象的发生要提早 8 分 19 秒；可是在相合时，即木星离地球最远时，这个现象要延迟 8 分 19 秒。1676 年在巴黎天文台发现这个现象的天文学家罗默（Römer），正确地断定这 8 分 19 秒的时间是光线用来经行日地间的距离的（图 219）〔罗默起初求得这个时间是 11 分，以后才减到 8 分〕。由图可见，在相冲的时候，木星地球间的距离减短了这段距离；在相合的时候，又增长了这段距

离。可是光线在1秒钟内经行29.98万千米。一个简单的乘法，使我们求得日地间的距离是1.496亿千米，这和用视差的方法所求得的结果是相吻合的。

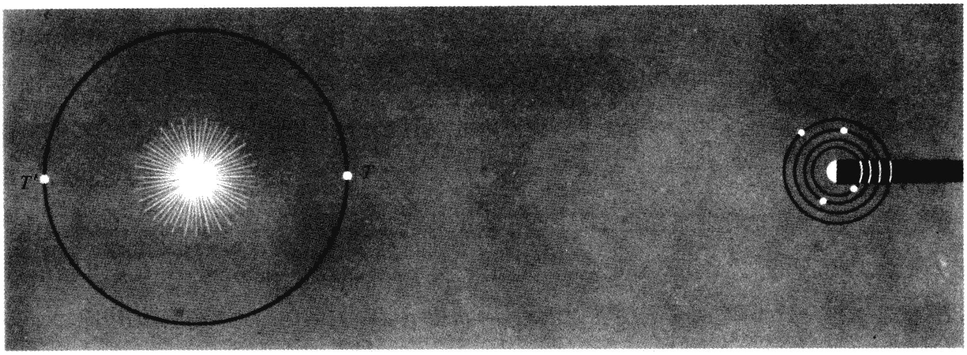



**图219　地球太阳之间距离的测定利用木星的卫星被食的方法：木星冲时地球在$T$，木卫被食早8分19秒；在合时地球在$T'$，木卫被食迟8分19秒**

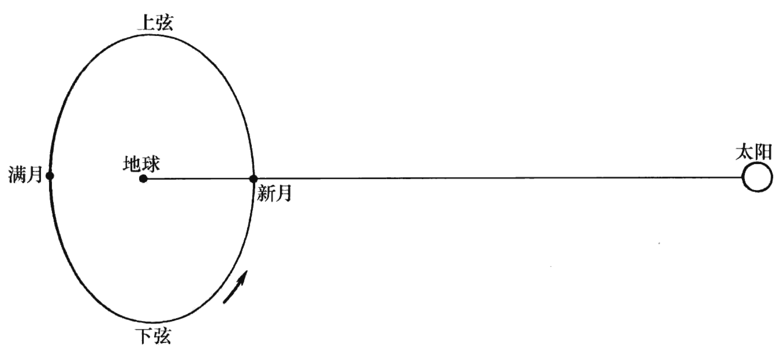



**图220　月亮的视差变化**

因为太阳引力的作用，月亮的轨道变成卵形，短轴指向太阳，地球不在卵形的中心；月亮的向径在满月时比在新月时要短一些。这种离心性表现在月亮的运动里，就是月亮的视差变化。

天文学家还有别的方法去测量太阳的距离。再谈一个依靠天体力学的方法。月亮在地球的引力作用下运行，但是太阳也吸引月亮，因为太阳的质量大，所以它对月亮所引起的摄动很大。这些摄动中，有一个是由于新月时太阳对月亮的吸引比满月时厉害一些而引起的，因为与满月时相比，新月时月亮和太阳的距离要短一些。月亮绕地球的运动，在新月时受这个效果的抑制，在满月时却又受这个效果的推动。事实上，由观测得知，月亮平均常常迟4分钟到上弦，而且平均常常早4分钟到下弦。由此计算推出日地间的距离是月地间的距离的389倍。月地距离是地球半径的60.3倍，即38.44万千米，因此用这种方法求得日地间的距离是1.495亿千米。

上面所说的那些很大的数目，很难使人想象，需要和日常的事物比较一下，才能明了它的意义。首先需说明，这样远的距离不是地球上的行程所能比拟的。围绕地球赤道旅行10

周，约等于地球距月亮的距离，但是，要围绕地球的赤道走 3 750 周，我们才能到达太阳。这是人力所办不到的，因为即使用等于声速的喷气式飞机，完成这个旅程也需要 14 年之久。

现在，既然用几个不同的方法所求出的太阳的距离都是相符合的，这就足以使我们相信它的正确性。要从太阳的视差和视直径去求它的直径的长度是很容易的事，我们在谈论月亮距离的那一节里已经讲得很清楚了。我们刚才说过，从太阳看地球，它的直径所对的角度叫做太阳的视差，数值是 8″.8。由观测又求得太阳的平均视直径是 32′，视半径是 16′即 960″。所以，太阳和地球的直径之比是 960∶8.8，或者说是 109∶1。那么，太阳的直径便等于 218 个 6 378 千米，或者 139 万千米，这大约等于月亮轨道直径的 2 倍(实际是 1.8 倍)。假使把地球放在太阳的中心，月亮便在太阳的体内，差不多在太阳的表面与中心的中间。

如果我们把 109 自乘，结果是 11 881，这便是太阳表面比地球表面所大的倍数。再拿 109 去乘这个数，便得 1 295 029，这便是太阳体积比地球的体积所大的倍数。如果不选地球作为比较的标准，而选体积最大的木星，也需要 1 000 多个木星的体积才能和太阳的体积相等。

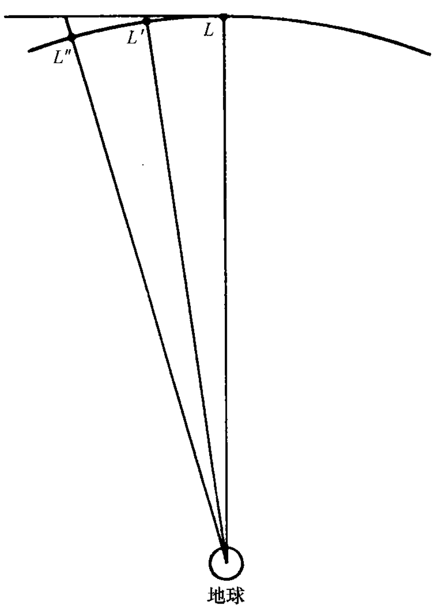



图 221 假设月亮在它的轨道上 $L$ 点的时候，忽然没有了地球的引力，它就会循图中的直线飞去，引力使它在 $LL'L''$ 的轨道上运动，在它经过 $L$ 以后一秒钟，它到了 $L'$，离开 $L$ 点的切线 1.35 毫米，两秒钟后它到了 $L''$，离开这切线 4×1.35 毫米，即 5.40 毫米

天文学家不但测量了太阳的大小，而且测量了太阳的质量。上面所根据的初等几何学，大家或多或少都有了一点知识，下面所要引用的力学知识，大家只凭直觉或日常的经验就不能够理解了，所以读者们对于怎样根据力学的知识去求太阳的质量，必须稍加注意才会明白。读者们也可以不管下面的解说，而直接接受所得的结果。

在讨论月亮的一章里，我们已经说过，地心引力和万有引力是同一种力量。牛顿计算地球的引力使月亮离开不受引力作用时所走的直线究竟有多远时，得到了这个相同的证明。要完成这个计算，必须知道月亮的距离和它的恒星周期，读者也必须具备一些三角学的知识。这样，我们就不难求得在第一秒之末，月亮离开它的直线 1.35 毫米；第二秒末，离开的距离将是 4 倍；第三秒末，离开的距离将是 9 倍等等，因为这种偏离的程度是和时间的平方成正比的。1.35 毫米这段距离代表在月亮那样远处的任

何物体向地球自由坠落时第一秒内应走的路程(参看图 221)。

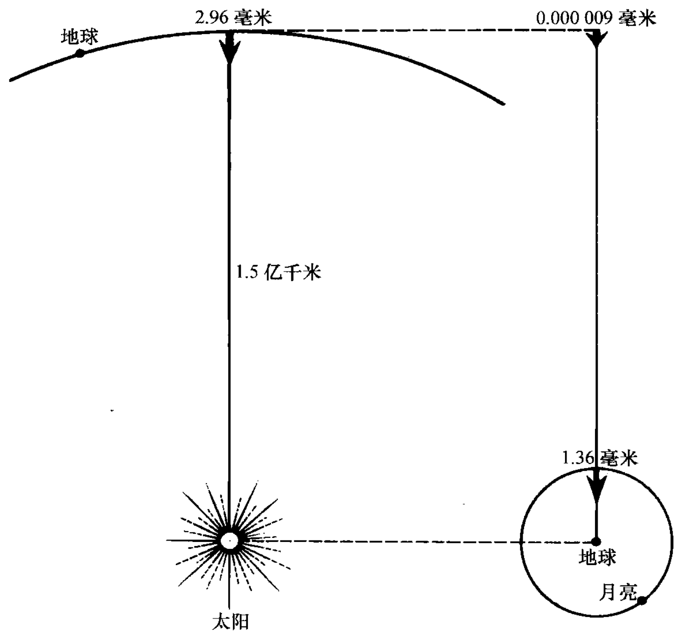



**图 222　怎样测定太阳的质量**

离开太阳 1.496 亿千米处的一石块向太阳坠落，在第一秒里下落 2.96 毫米，这一石块在离开地球一样远处第一秒里只走 0.000009 毫米，因此太阳的质量和地球的质量之比为 2.96∶0.000009，即 330 000∶1；换句话说，即是太阳的质量等于地球质量的 33 万倍，在这种理论里，我们并没有假定这石块是从地上的一点落向太阳，而是说在像地球离开太阳那样远处有一石块向太阳坠落，同样，在月亮轨道上的一点有一物向地球坠落，也是说在像月亮那样远处有一物体在坠落。

设想我们把一块石块不是移到离地 38.5 万千米处，而移到离地 1.496 亿千米处，并在那里把它放开。它只受地球的引力，在第一秒里，这块石块向地球坠落多远呢？根据牛顿的定律，立刻便可得到答案，因为引力是与距离的平方成反比的。这个新距离(到太阳的距离)是到月亮的距离的 389 倍，389 的平方是 151 321，地心引力使这块石块从它的新位置开始坠落的第一秒里坠落 1.35/151 321 毫米，即 0.000 009 毫米。

好了，现在我们像刚才所说过的地球那样来讨论太阳。既然已经知道地球轨道的半径是 1.496 亿千米，地球用 365.25 日在这个轨道上运行一周，那么我们便容易算出地球每秒绕太阳所走的路程，以及它对直线的偏离。这样，如果地球只受太阳的引力，我们可以求得(见前章)在第一秒末地球离开它开始坠落时速度所在的直线 2.96 毫米。一块石头在离开太阳 1.496 亿千米那样远时，若只在太阳的引力作用下自由坠落，在第一秒末也落 3 毫米(用大约数表示)。但是，如像刚才我们所计算过的，这 3 毫米就是这块石头只受地球的引力自由坠落 0.000009 毫米的 33 万倍。换句话说，对于在相同距离的物体来说，太阳的引力是地球引力的 33 万倍；更完善的计算，必须把摄动的作用计入，所得的正确数字是 33.25 万倍。

如果读者对于以上冗长的推理还不感觉讨厌，如果读者自始至终跟随着我们的讨论，那么他会发觉，在计算中所需的数据只有日地间和地月间的距离的比例以及地球和月亮的恒星周期。但是，必须引用万有引力的基本定律才能够把太阳的质量这样一个重要数据提供给我们。在本书后面可以看见，也正是这个定律帮助我们算出了某些恒星的质量。

前面已说过，拿体积来说，太阳等于129.5万个地球，但是拿质量来说，太阳等于33.25万个地球，而不是129.5万个地球。假使太阳和地球的平均密度相等，那么对于体积和质量会有相同的倍数。我们由这些数字算出太阳的平均密度大约是地球平均密度的1/4。根据对钟摆的观测，已经使我们知道地球的平均密度是水的密度的5.52倍，因此太阳的平均密度是1.4。有人会说，对于像太阳这样的气体星球，这个密度未免太大了。以前的天体物理学家以为太阳有一个固体的核心，但是根据现在的理论研究，明了太阳中心区有超出想象的高压，因此太阳的平均密度有这样大，便不足奇怪了。

日地间的距离等于地球半径的2.35万倍，却只等于太阳半径的215倍。215的平方是46 225，可见，一个在太阳表面自由坠落的物体在第一秒里下坠的距离应是2.96毫米的46 225倍，即137米（当然必须假设它不被焚毁）。在地球上，这个物体只落下4.90米。所以在太阳面上的引力比地球面上的引力强28倍。在这样大的引力场里，一个寻常人将会重2 000千克，可是跑到月亮上去，他不过重12千克〔由这些例子可见，质量和重量不是同义词。质量代表一个物体内所含物质的分量，和它外界的情况无关。重量是一个引力中心加在这物体上的力量，它随这个力心的性质和它与力心的距离而变化。本书初版中，这一章名叫“怎样称太阳”。物理学家说，人们不能测定太阳的重量，只能测定它的质量。为了使这些学者们满意，我们把这个很形象化的章名改了。但是物理学家们用天平比较两物的质量的时候，他们也说把它们称一下，可见他们也不能免掉这种通俗的说法〕。

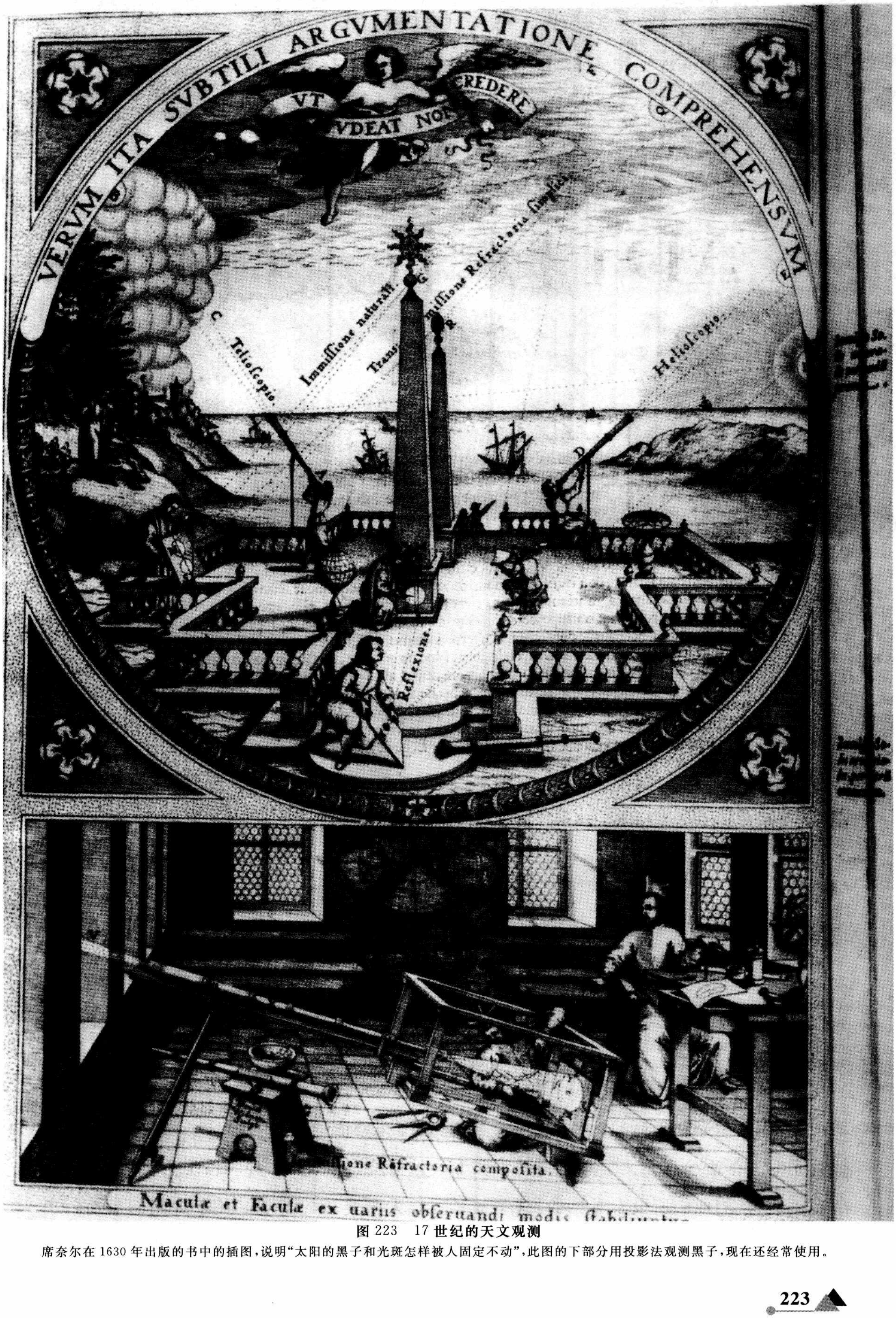



图 223　17 世纪的天文观测

席奈尔在 1630 年出版的书中的插图，说明“太阳的黑子和光斑怎样被人固定不动”，此图的下部分用投影法观测黑子，现在还经常使用。

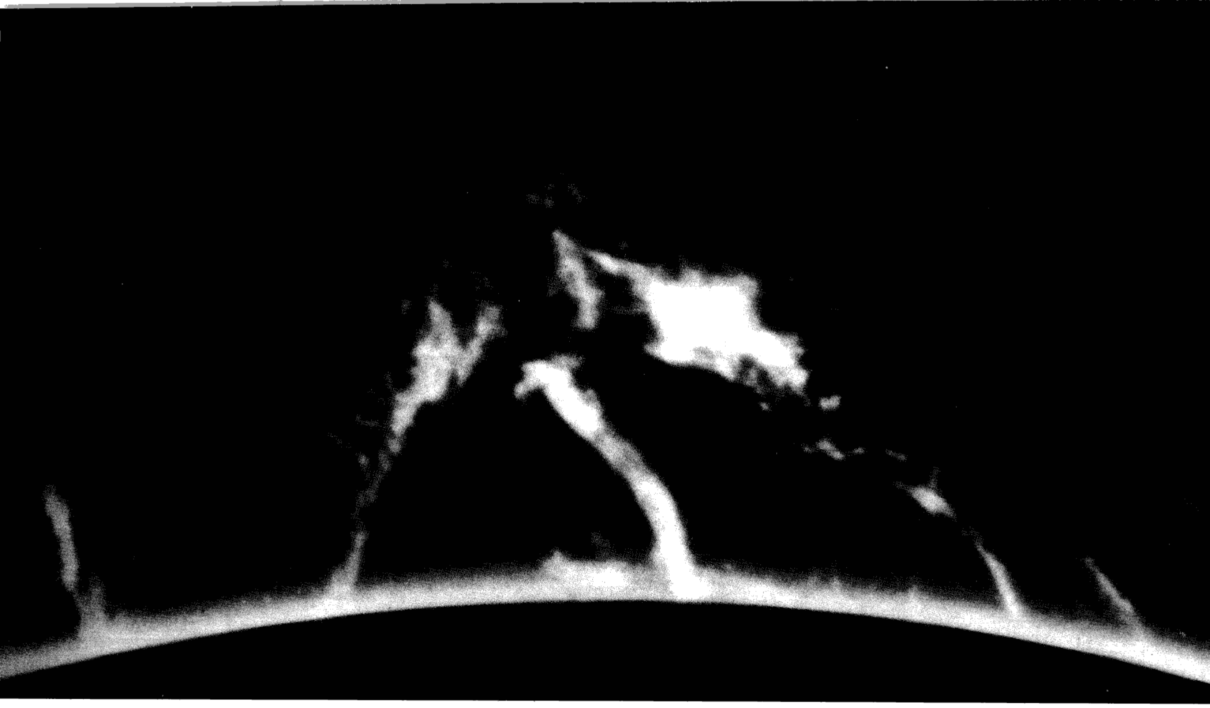


图 224　日珥——“巨大的喷泉”
1937 年 6 月 10 日日中峰天文台拍摄。

# 第十七章

# 太阳物理概观

## 太阳与人·太阳物理学的目的

无论是原始的人或开化的人，古代的人或现代的人，没有不崇敬太阳的，这是可以理解的，因为它是光和生命的源泉、善良的象征、黑夜和恐怖的永远征服者。城市的居民需要日光浴进行治疗。天文学家和物理学家专心地研究这个光明的世界，努力去明了他们所看见的，猜测他们所没有看见的，这些都是对于太阳爱慕的表现。关于太阳的一切，人们都感兴趣，这也是很自然的。我们知道，或者我们感觉到，地球上的一切变化，乃至动植

物的生命，都起源于太阳。太阳除了对于地球的形成和演化是主宰的因素之外，它还是地面上一切可用能量的来源。

什么叫做能量？这一概念今天的读者已经熟悉，起初物理学家介绍进来，是为了统一热和功两个概念。无数的实验证明，这两个量是完全相当的，人们可以任意将热变为功（如蒸汽机），也可以将功变成热（如摩擦现象）。

能量可以表现为各种形式，但只需要回想一下，便会明白，我们在地球上实际使用的一切能量都是从太阳而来的。例如，我们消费在照明或生热上的电能量：电流可从一个水力发电站而来，它是借助涡轮机转动交流发电机而产生的，而涡轮机被流水推动。流水是因太阳的热能蒸发海水，风卷云涌再变成雨降落到高山上，再由高山流至山谷，所以水电站的能量实际上是从太阳而来的。风和洋流的能量也与流水中的能量相同。储蓄在植物里以碳化物表现的能量，煤炭、石油以及由森林或寄生物、微生物的化石所留下的能量〔碳和碳氢物的蓄积，在现代人们的生活中有很大的重要性，原来是生物活动的结果〕，我们消耗的体力或脑力劳动的能量，这一切能量虽然千变万化，机制复杂，但其来源同出于太阳，这是无可怀疑的。只有潮汐的能量才是由地月系统所蕴蓄的能量而形成的。最近被人类控制的原子能或许也是一种例外，不是由太阳而来的能量。

假使没有太阳，地面上便不会有运动，也不会有生命。即使太阳现今的放射率稍微改变一点，对于生物也会有致命的危险。假使太阳的能量减少一半，地面的温度便会下降到0℃以下，河海都会冻结。假使太阳的能量增加3倍或4倍，海洋里的水将会沸腾成为蒸汽。由于太阳辐射维持平衡，我们才能够生存于地球上。地质史所揭示的冰期，可能是太阳辐射变化的结果，也许是纯粹由于地球上的因素所引起的气候变化的结果。

太阳为什么会发光？为什么它恰恰发出一定的能量呢？太阳的辐射在量与质两方面都是不是恒定不变的呢？从好久以来，还要到多久以后，太阳像今天这样给我们输送光和热呢？这些是和人类生存有关的几个问题，太阳物理学家是应该寻找出它们的答案来的。

要解决这些大问题，显然应该先从太阳表面的发光区域入手。我们必须先知道，太阳上的物质，至少我们所看见的那部分，和地上的物质，如物理和化学所讨论的物质，是不是有相同的性质呢？因为我们不能到太阳那里去取来一些标本分析它的成分，我们只好从太阳发出的光线去探寻一切情况。于是，我们借光谱学这一门科学去研究太阳的光线和发射或吸收光线的物质两者之间的关系。太阳、蜡烛、蔚蓝的天、燃烧食盐颗粒的火焰、炽热的铜丝，这一切所发出的光不都是相同的，它们的强度和颜色都有区别，它们的性质和它们的成因自然也有差异。问题就在于要明白这些差别，而且要把这些差别和发光的物

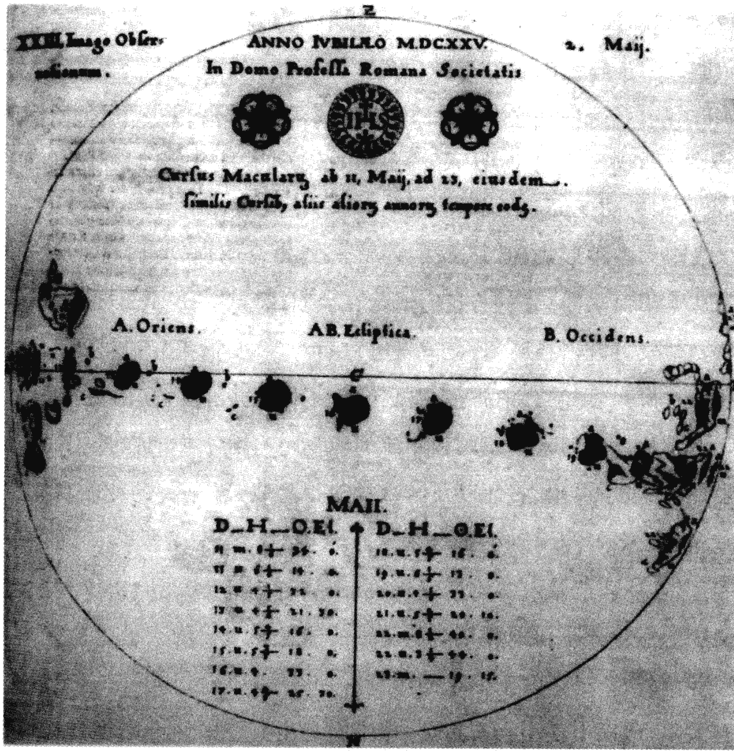


图 225　大黑子经过日面的几个位置与形象(席奈尔的图画)

当黑子在边沿附近时,出现明亮的片状形象(光斑),席奈尔也把它描绘出来,为了使图画清晰,有时故意将黑色区上下移动一点。

质,或者光线透过的物质的化学成分和物理状态(温度、压力、密度)联系起来。问题归结于对火焰或者太阳的光做光学分析,就像使用温度计、压力表那些仪器所能知道的一样,当然这一切知识只能从对光的研究中得到。

物理学的这一分支的发展和太阳的研究是绝对分不开的。不要认为人们在实验室里先发现辐射的定律,然后才应用到太阳的光线上去。事实上,太阳物理和辐射物理这两门科学是携手并进的,自 19 世纪起,直至今天还在发展。太阳成了我们实验室的一个扩大的"部门",不断向我们提出问题,结果在理论和实验两方面都发展了纯粹的物理学。我们还要仔细地谈到天体物理学的惊人的发展历史,从那里我们会知道天上的科学和实验室里的科学是怎样协调地进步着,在科学的一致性以及天文学在人类知识进步中所起的主要作用这两点上,都给予我们一个极好的典型。现在我们只谈一下太阳光谱学的主要研究成果:太阳发光的表面层里的物质是和地球上的物质相同的,性质也没有两样。太阳(至少在它表面层上)是氢、氦、碳、氧、铁等元素所组成的,和地球上物体中的化学元素是

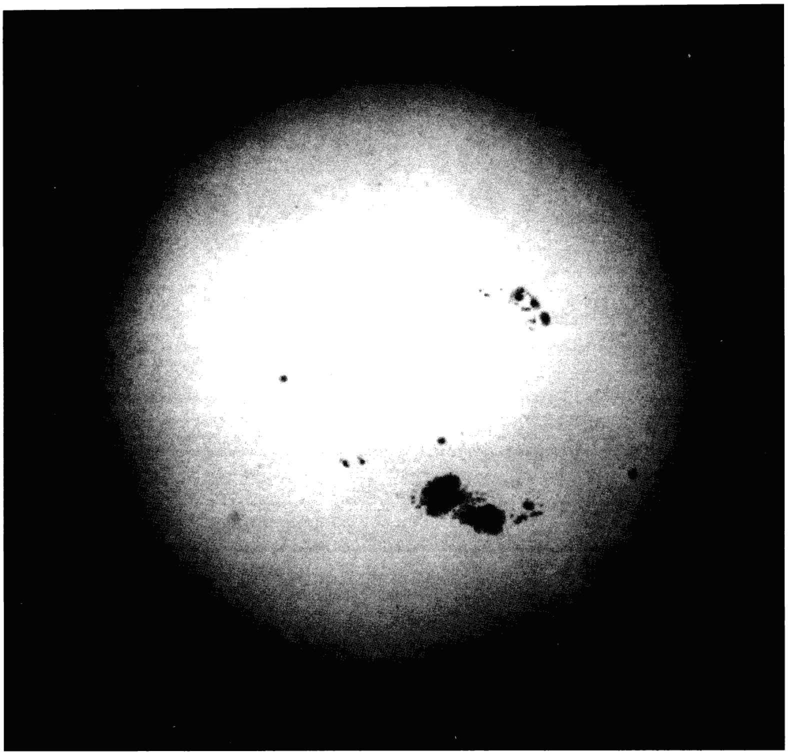


图 226　有一群大黑子的日面(1947 年 3 月 11 日)

相同的。太阳的辐射可以由实验的定律和由定律综合成的理论得到解释。这样,我们就可放心地把定律和理论应用到观测不能达到的太阳的内部去,巨大能量的生成就是在这个内部。地球所接受的分量虽很微小,但却是生命所必需的。

除了能量生成的基本问题以外,对太阳表面的观测也发现一些奇特、伟大的现象。用望远镜,有时甚至用肉眼,在灿烂的日面上发现了黑子。席奈尔(Scheiner)和伽利略首先用望远镜于 1610 年间观测到黑子。黑子出现于日面,生存几天或者几个星期就又消逝了。从表面看,黑子继续不断地在日面上移动,由一边沿到另一边沿大约要用 13 天的时间。愈近边沿,黑子愈显得扁圆,在对着中心的方向上,黑子的长度不断变小。这个现象使观测者明了太阳是一个球,黑子接近边沿时变形,不过是透视的效果。黑子有规则的运动可以解释为由于太阳整体的自转。总之,对黑子的观测表明,太阳是球形的,约 27 日绕着自己的轴旋转一周,关于黑子的最显著的事实,便是它们的数目和面积不是恒定的,而是以 11 年的周期而变化着。每隔 11 年,黑子的数目和大小都增加到一个极大值,然后又渐渐减少;到极小时,黑子非常稀少,随着又开始另外一个周期,重新再增加到一个极大时

期。太阳上许多别的现象，以及许多地球物理现象都和黑子一样，有着 11 年的周期的变化，这些现象都被认为是受了太阳活动的影响。

例如，使短波无线电传播发生困难的电离层干扰、地磁上的磁暴、频繁出现的北极光、一部分宇宙线以及一些气象变化，都或多或少与太阳的黑子活动有联系。黑子和黑子的作用，对于我们小小的地球和人们的生活既然有这些影响，我们对于太阳的研究，当然是更有实际的价值了。

在日全食的时候，太阳更为我们表现出新颖而料想不到的另外一方面。当月亮完全掩盖了耀眼的日轮的时候，人们所看见的并不是漆黑的一团，在这个被食的日轮四周

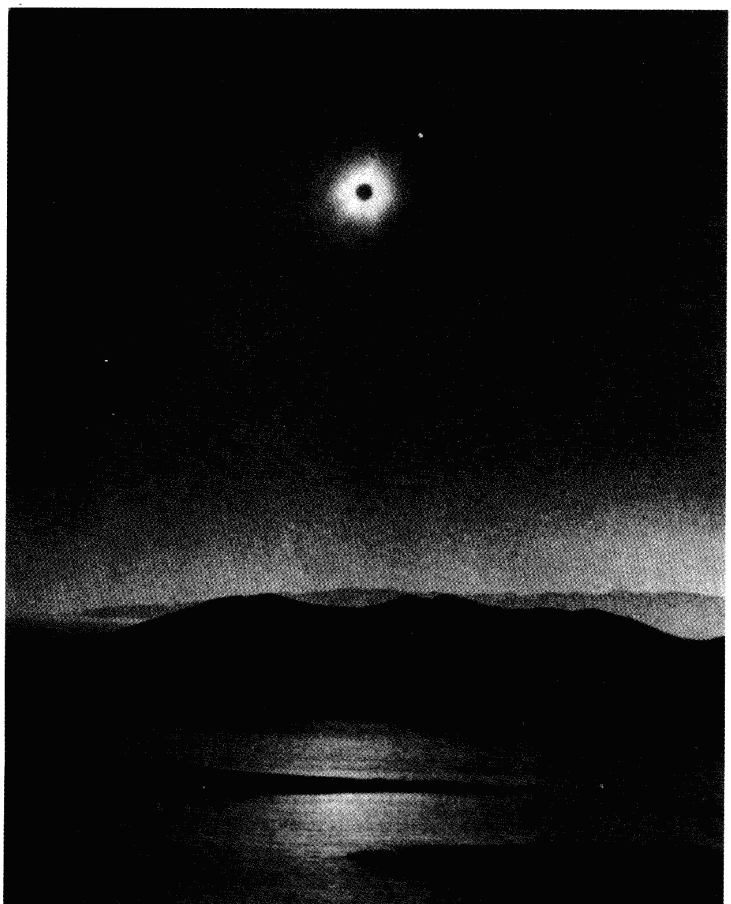


**图 227　1936 年 6 月 19 日的日全食（在希腊齐阿岛上拍摄）**

注意日冕和它的光在水上的反射像月光的情况；地平处大气、海和岛都在本影的外边，还被娥眉状的太阳照着，所以还很明亮；在太阳的右上方可以看见金星。

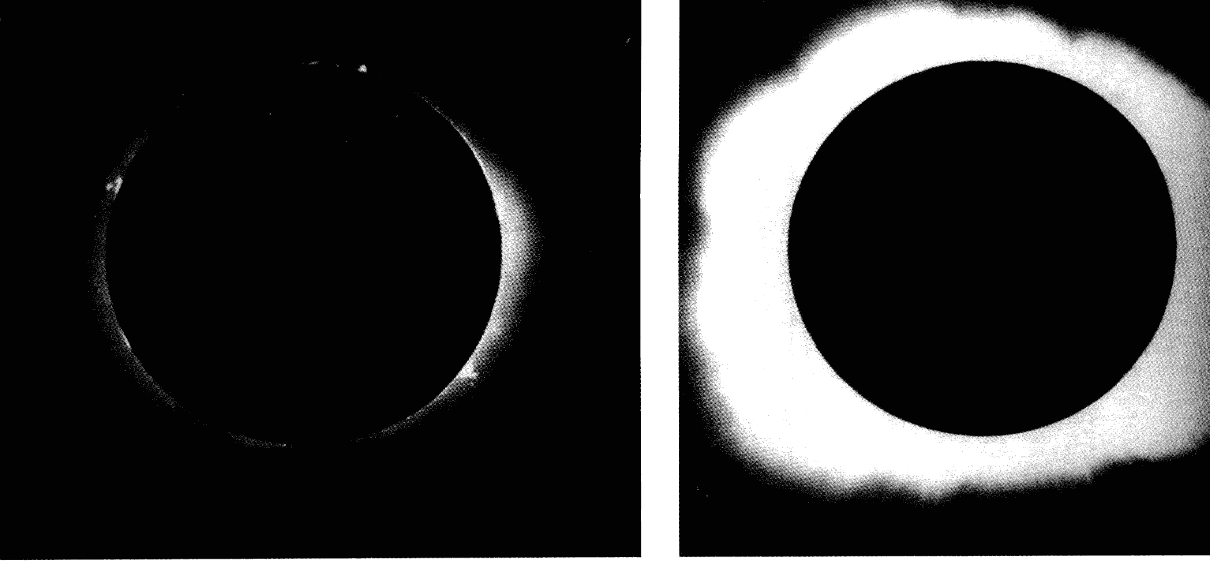


**图 228　1918 年 6 月 8 日日全食的两张照片**

左图：露光时间短，只表现色球的一丝明线、日珥和内日冕；右图：露光时间长，表现范围很大的日冕。

有一圈平时看不见的大气，在几分钟的暂时黑夜里放出光辉。下面的部分有朱红色锯齿状的发光气层，叫做色球；上面有弧线状红色的火焰叫做日珥；再上面还有日冕，那是范围广大的不规则的白色光辉。这些都围绕着被食的太阳，呈现出一片无比美丽的景象。

对太阳的这一层大气的研究，引起人们极大的兴趣，所以从 19 世纪开始，天文学家便不惜长途跋涉去观测日全食，因为我们说过（第十四章），每一次日全食，地面上只有很小的区域才可以被看见。今天我们已经能够在非日全食的时候观测太阳的外层，因为技术的改进，我们可以区分外层所发出的弱小辐射和深层所发出的能量的洪流。因此，我们揭露了色球层、日珥和日冕的许多特性，而且发现了太阳大气里的许多奇特现象，其中有一些是和太阳的活动有关的。今天摆在天文学家面前的有不少新颖而激动人心的课题。它们的解决，不但会增进我们对于太阳的认识，也会推动纯粹物理学的发展。例如氦这个元素，因为它的辐射特性，我们先在日珥内查出，然后才在地面上找到。我们说过，太阳是我们实验室的扩大的“部门”，这句话是怎样的确切啊！

太阳大气的研究提出了星球和它所在的星际空间哪个更重要的问题。正如对于一种生物，我们不能离开它的自然环境去研究它们，譬如我们要了解鱼，怎么能够不谈到水呢？如果我们要完全明了太阳，便不能脱离它周围的若干亿个太阳，而去孤立地了解我们的太阳。这样便会使我们记住，太阳只是一颗星，一颗十分平凡的星。不过，这是一颗离我们最近的恒星，只有它才使我们看得见显著的直径，使我们能够详细地进行研究。这样也就使我们明白，研究太阳对于恒星的了解是如何重要。我们常拿恒星的各种各样的特殊现象去与太阳里特别显著的现象作比较，从中去了解它们。例如，我们以为有些星球上也有

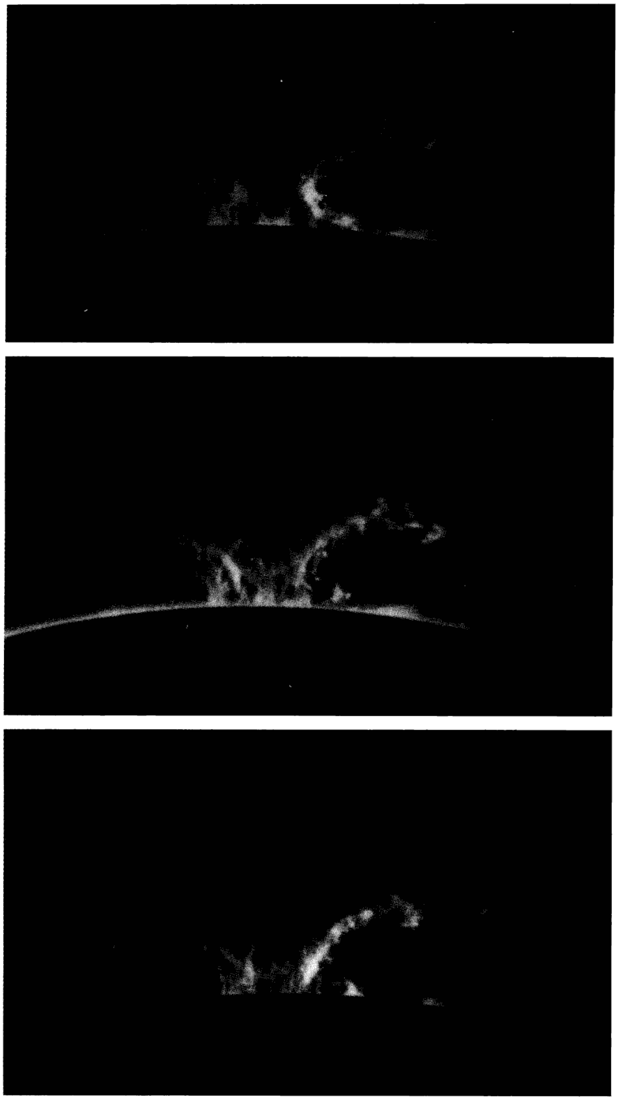


图 229 日珥生活史中的三张照片

像色球那样的大气，而且扩展得更大，我们也谈到像日珥那样的“星珥”。总之，太阳在天文学家的眼里，就好像白鼠在医生的手里一样，新理论像新药物一样，先在它身上应用，然后再推广到别的较大的范围里去。

关于太阳物理的大问题，有些是产生自人类的思想，有些是起源于观测。经过了这样简略的叙述以后，读者无疑会明白为什么科学家会这样努力去追求太阳的知识，因为它是我们能量的供给者、伟大的实验室、典型的恒星等等，而且还应该说，太阳是一个神秘迷人的世界，从它的研究里显现出一些最美丽的景象、最难理解的现象，因而也是天文学上最能激动人心的课题。由于有了这一切原因，研究太阳的天文学家可能有古埃及人对于太阳神阿蒙拉(Amon-Râ)的那种崇拜情绪。

## 研究太阳的仪器概述

太阳的能量主要是以“可见光”的形式发出的。一个棱镜便可以把一束日光分解成各种颜色的光〔关于光的性质和光谱分析这一类的问题，在下一章里还要详细讨论到〕。太阳光里的蓝色光(至少在穿过大气以后)是最强的，我们的眼睛感觉最灵敏的也是蓝色光。我们喜欢

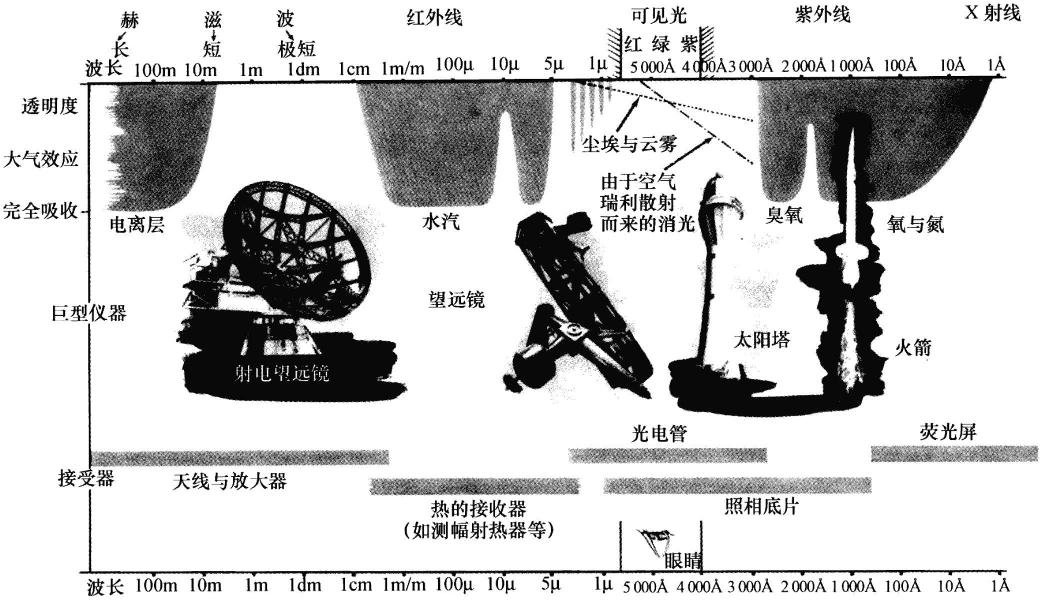



**图 230　可见的与不可见的光波表和我们怎样观测这些振动的方法**

在波长的标尺下用曲线表示大气对于这些波的吸收情况，曲线的最低处表示完全吸收，吸收原因也加以注明。在这下面绘出研究用的仪器，如巨型的聚波器以及对于光谱每一区域里的接收器。

的是和日光里的能量分布相同的光线。但是还有不可见的光，因为它们的实际用途，即使不精通物理学的人也已经很熟悉。这些不可见光，一端是红外光和射电波，另一端是紫外光和 X 射线等。这些辐射都是同一种形式的能量，唯一的特点就是它们在空中都以每秒 299 790 千米的速度传播。是什么在传播呢？一种振动。声音是琴弦或别的物体在空气中引起的一种振动，光线和声音相似，也是空间里的一种振动。凡是振动都有周期，例如 $la_3$ 这个音的周期便是 1/435 秒。那就是说，我们感觉到的像 $la_3$ 这个音，它是空气的不断变形和复原，在一秒钟内变化 435 次，所以 $la_3$ 的频率是 435。同样，我们(指法国)感觉到的射电波(不如说接收天线感觉到的!)，和光一样，也使空间变形。它的频率是 69.5 万周，是法国专用的波，至于橙色光的频率，是 500 万亿($5\times10^{14}$)周。我们常用波长来表示一种振动的特征：波长是一个周期里振动在真空内所走的路程。法国专用波的波长是 431.70 米，橙色光的波长是 0.0006 毫米〔为了表示光波和紫外波那些短波的波长，我们使用单位“埃”(Angströrm，这是 19 世纪一位瑞典光谱学家的姓)，它等于 1 毫米的千万分之一。所以橙色光的波长大约是 6 000 埃(Å)〕。可见光里的各色光以及各种不可见光，差别只在波长不同，从长波的射电波直到硬的 X 射线，波长顺次地减小。

物理学家逐渐发现了各种各样的像光那样的辐射，同时在太阳的辐射里去找寻它们

是不是也存在。

我们也知道特别是被放射物所发出的粒子辐射。它们和光波完全不同，根据相对论，它们不能和光走得一样快；它们是物质的基本成员：电子、质子、氦核以及现今物理学所发现的各种各样的粒子。它们的微小是帕斯卡(Pascal)所不能想象的。

一切已知的辐射，无论是波动的或粒子的，都可能由太阳射出，其中大部分已经被人仔细研究过，也有一些只是被查出存在于太阳的辐射中。对太阳物理的研究，不但需要光学仪器和照相技术的改进，而且在观测不可见的辐射时，更需要光电管、温差电堆以及无线电技术等。地球的大气对于太阳辐射的研究是一种很讨厌的障碍，大部分的紫外波和红外波是不能透过它的。不过话说回来，假使不是这样，紫外辐射便会杀死一切植物和动物，连天文学家在内，都一扫而光。所以我们应该感谢大气帷幕，纵然它有一点妨碍我们的观测。

太阳的观测虽然需要各种各样的技术，但光学仪器和照相器材还是担负着主要的任务。在一切天文观测上，光的接收器总是必需的部分。在对太阳的观测里，光线异常强烈，观测者把肉眼放在望远镜的目镜上去看太阳，那是非常危险的。为了直接观测太阳，我们常在物镜前放上光阑，使用特殊目镜，或者是把太阳像投射在白色的散光屏上。

为拍摄太阳的像，我们常使用小焦比(即口径与焦距之比，常用的焦比大约是 1/100)的仪器，并且露光时间非常短。

如果用摄谱仪〔参看第十九章〕去研究太阳，要将日光展开成为一个光谱，以便仔细地分

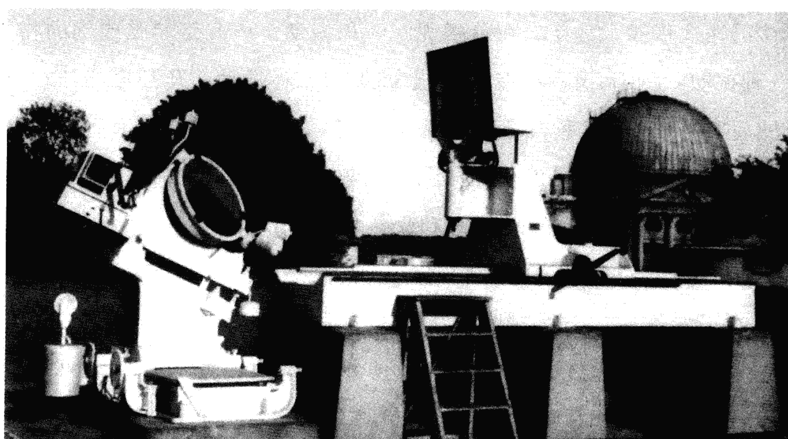


图 231　**默东天文台的定天镜**

反光镜向左转投射一束日光到右边的反射镜，它再把这束日光沿水平线方向送进实验室里去。

析，问题便两样了。可见光由一个只宽几百分之一毫米的隙缝进入摄谱仪，在那里被展开成为一个几米长的光谱。这时人们不嫌日光太强，有时还觉其太弱。如果我们不愿意使观测的细节被衍射现象所干扰，接收光的仪器的直径便不该太短，所以观测太阳的望远镜的口径有时仍达 20 厘米至 50 厘米：口径小了会减小观测细节的可能性，大了又成浪费。只有恒星天文学研究所需的仪器才是愈大愈好。

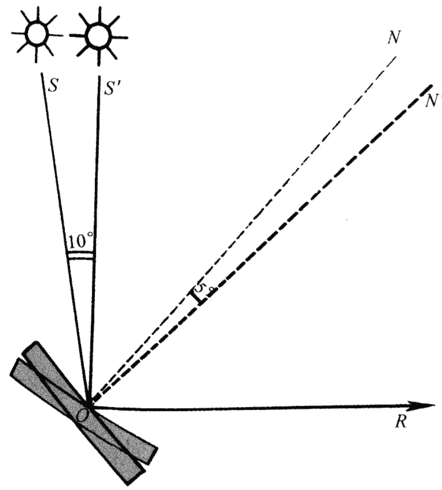



图 232　定天镜的原理

研究日光的摄谱仪是一种庞大的仪器，长度达几米，自然不会把它装在一具望远镜上面去随着太阳做周日运动。观测太阳的望远镜和附件都是固定的，用一面或多面反光镜。这些反光镜中有一个是运动的，追随着太阳，其他的反光镜是使反射出来的光束有一定的方向，使得日光反射到固定的望远镜上去。可以用不同的方式获得这样的结果，最好的装置名叫定天镜〔这种仪器上有一平面镜，绕着它平面内和地轴平行的一个轴旋转。太阳的运动实际是绕这根轴转动（图 232）。据反射定律，反射光线 $OR$ 和镜子的法线 $ON$ 所成之角，是日光 $OS$ 和 $OR$ 所成之角的一半。如果 $OS$ 转过 10°而成 $OS'$，法线 $ON$ 转过 5°变为 $ON'$，那么 $OS'$ 与 $ON'$ 和原来的反射光线 $OR$ 所成之角的比仍是 2∶1。所以新的反射光线和旧的反射光线是一致的，这便是我们要达到的目的。所以反光镜应该在 48 小时内旋转一周。再用一个辅助反光镜，便可把这束反射光线送到水平或者垂直方向上去〕。

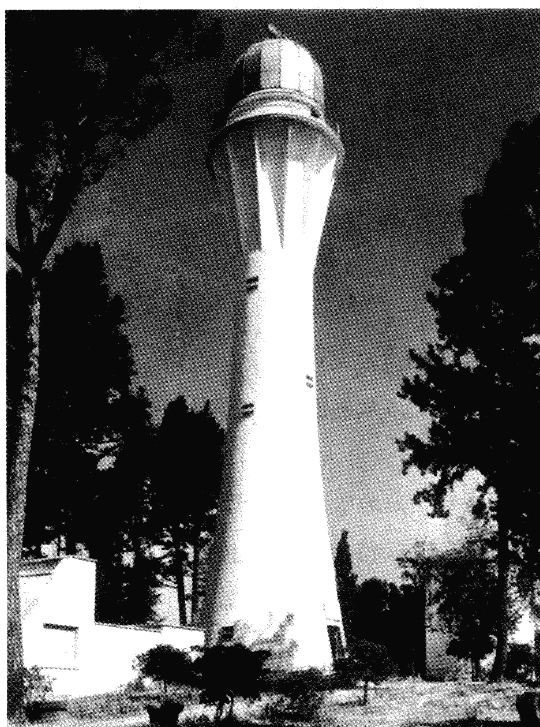


图 233　罗马玛丽奥小天文台的新太阳塔高 37 米，下面有窟深 18 米，安装有摄谱仪

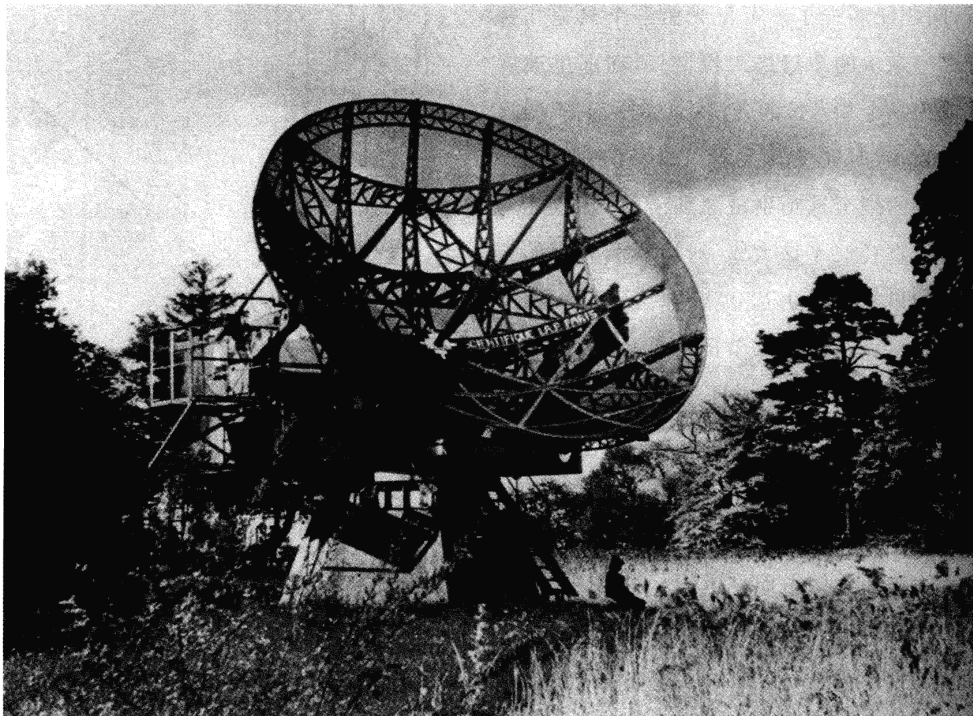


图 234 **默东天文台的射电望远镜**

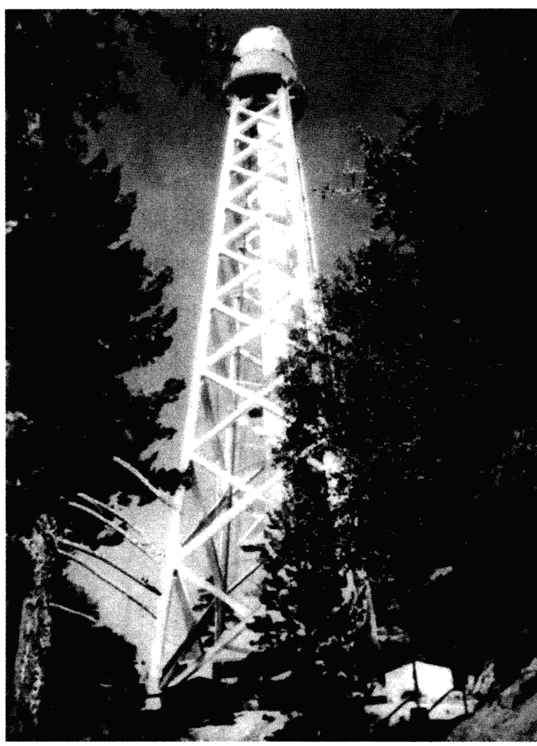
抛物面反波镜的口径长 7.50 米，支柱和安装接收器的小屋都是由德国遗留的雷达改装而成，镜面是铁丝编成，作用像一个连续的反光镜面，将射电波反射，汇聚在一点上。

太阳的光线被定天镜定在一个方向上，这个方向时常是沿垂直方向落在一个垂直光轴的物镜上面。这种装置叫做太阳塔，现在世界上有十几座。因为天文学家需要在这种物镜的焦面上有一个相当大的太阳像，以便作详细的研究，所以物镜的焦距颇长，因而太阳塔很高，如威尔逊山天文台所修建的高达 50 米。太阳像投射在地面层，摄谱仪放在垂直向的深坑里或者水平方向的远距离处，日光被另外一面反光镜反射到这个方向上去。自然，这种仪器的望远镜和摄谱仪，也可以像默东天文台的装置那样都放在水平方向上。以下几章还要谈到太阳摄谱仪和它的附件，这里就不多说了。

观测太阳可见光区的仪器，也可用来观测红外区和近紫外区。照相底片是主要的研究工具，光电管也用得很多。我们说过，地球上大气不但让可见光通过，而且让比可见光的波长短些或长些的波通过。别的波长的辐射最近才开始有人研究。第二次世界大战(1939—1945)以来，天体物理学家得到新技术的帮助，发现而且了解到一些日面的新现象，并且寻找出这些现象对地面造成的影响。这些技术原来应用在军事上，这些仪器原来也是为摧毁或者防御敌方的目的而使用的。

为了控制大气对于2 900埃以下的短波长的辐射的吸收，天文学家不得不把仪器送到臭氧层上的离地面40千米高的地方去，这虽是一个困难的问题，却已用$V_2$火箭完成了。现代的火箭已经能够携带1 000千克重的有用的载荷，上升到200千米的高处。这里所说的"有用的载荷"，自然是指火箭所带的科学仪器，而不是爆炸物品！所以，太阳的光谱可以拍摄到2 200埃。另一方面，一向怀疑可能从日冕发出来的软X射线，现也已经被人证实了。一个新的研究领域已经打开了，但要进一步研究，还需付出大量的人力和财力。

幸而在长波，即赫兹波〔即无线电波，以发现人赫兹命名，以资纪念。——译者注〕那一段，我们没有遇见同样的困难。1942年2月，英国军队中的雷达受了很大的干扰，一位英国物理学家研究了这种有害的影响，发现这种干扰性的电波是从太阳而来的，那时太阳上正有一个很大的黑子。这是对太阳发出来的无线电波的第一次观测，虽然在无线电发现的初期，天文学家就用不完善的方法去寻找过它。第二次世界大战期间，因军事上的需要，短波无线电的接收器大有改进，战后产生的所谓射电天文学这门新的学科得到迅速的发展。太阳所发出的赫兹波，自几毫米至十几米的波段，都被人加以研究。这些也是无线电通信所常用的波段。在这个研究领域里，一些天文学家变为无线电专家，同时一些无线电专家也变为天文学家。于是，天文台里装置起射电望远镜的天线和接收器，由于这种努力，得到了大量惊人的成绩，扩大了天文学研究的领域和对象。


图235　用以拍摄太阳光谱的一座太阳塔

至于太阳的粒子辐射，还只能利用地面上的效果去探索，可是我们已经明白，太阳的研究固然使我们了解到不少地球的物理现象，同时也由此获得一些对于天体物理学的知识。

为了详尽地叙述研究太阳天文学的一切仪器，还需提到自来水笔和计算机，这些是理论学者的武器，也是不可小看的。观测的技术日趋精密，物理学的理论日趋复杂与抽象，使得一



图 236 威尔逊山天文台
左边是水平望远镜，中部是 1.55 米口径的反射镜圆顶室，右边是 2.55 米口径的反射镜圆顶室。

个人不能既观察实验和测量计算，而又同时对结果加以解释与联系。在一切科学的历史里，人们的智慧常有两种偏向。迦勒底人是不知疲倦的观天者，可是古希腊人却不常抬头看星，而只是在沙盘上绘出许多图形以便去了解天象。第谷费了 30 年的精力精密地观测了行星的位置，他的学生开普勒才从这位辛勤观测者所积累的数字里寻出隐秘的定律。勒威耶从计算寻得海王星，可是他却没有兴趣从望远镜里去看他所发现的行星。太阳天文学也如一切科学，理论的研究有它固有的任务，那便是联系观测的结果，再推证出新的结论。使用精密仪器的天文学家和伏案思维的天文学家相互提出问题，他们的努力综合起来，才促成了科学的进步。这两种才干在一个人的身上同时具有是很少的。关于太阳的研究在数学物理学上开拓了重要的篇章，例如，辐射传播的理论可以应用于各种各样的现象中，例如，光线经过星球的大气层或者中子经过原子堆的变化。

根据上述，读者可以感到，关于太阳的科学，由于它所提出的问题和所使用的方法，使得它处在天文学和物理学的十字路口上。天文学的这一分支借用而且给予许多科学和技术以知识。要想将太阳天文学的成就和前景叙述在本书的短短篇幅里是很困难的，这方

面的许多问题，我们只能大致提一下。关于这个未知的、有趣的世界，但愿我们能够给读者们一些概念：这个世界便是离我们很近的恒星，也就是和我们有着密切关系的太阳。

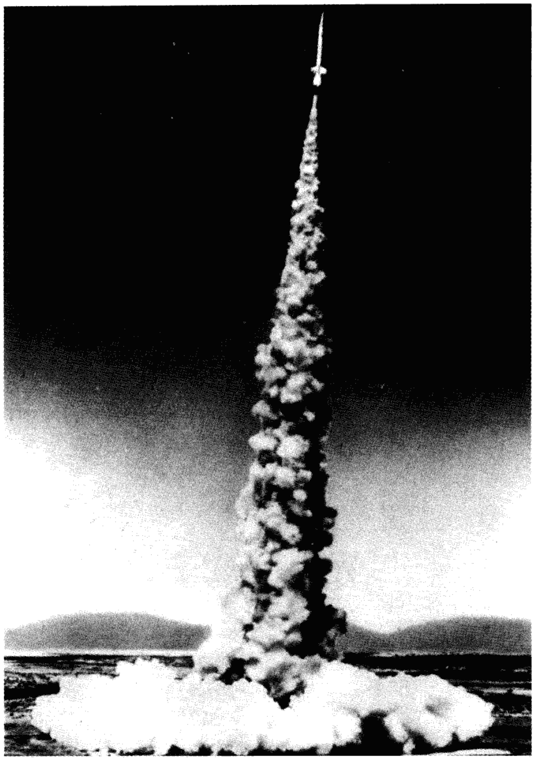


图237　蜜蜂式火箭上升的情况

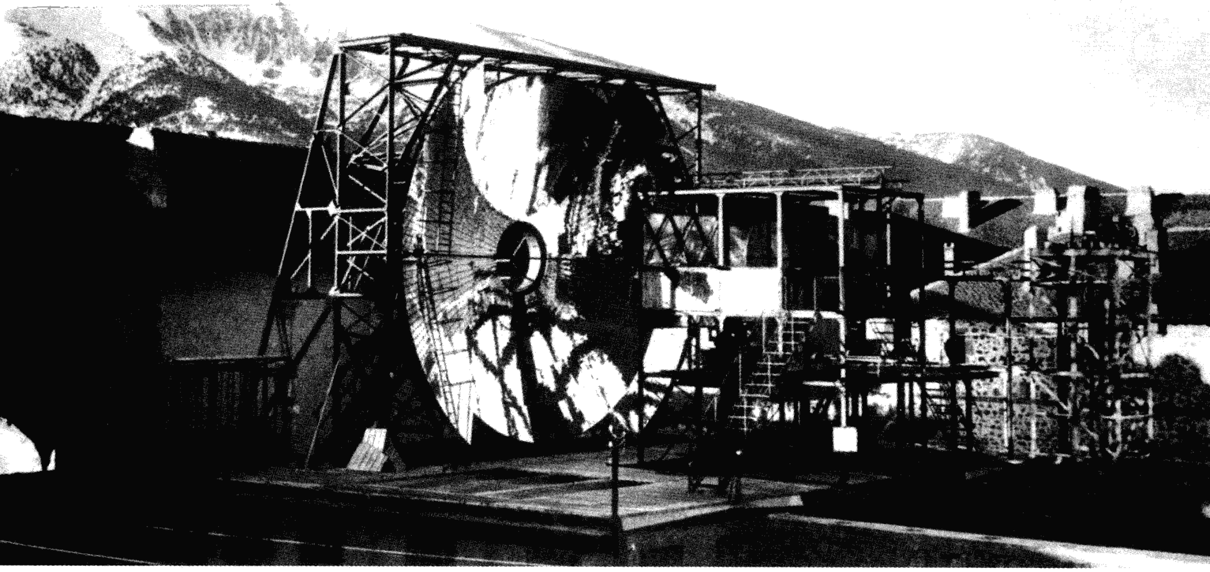


图 238　太阳能的利用，设在法国东比利牛斯省路易山的研究中心

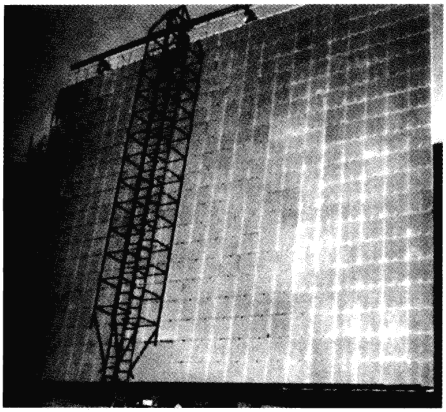
# 第十八章

# 光　　球

## 太阳的能量

借太阳的白光，我们去看它的边沿，好像界限十分清楚，表面也完全确定。这个被目视到的表面叫做光球。从光球射出的充满能量的洪流中，只有很少一部分才达到地球，带来了光、热和生命。

现在我们要测量太阳的能量。我们可以测量地面（垂直于太阳的地方）每平方厘米的面积上每分钟接受热量的多少，当然，必须假设该地区在大气以外，因为大气吸收了这热量中很大一部分。这样测定的一个基本数字叫做太阳常数。这个数字的测定是很困难的，可以说，现在还不十分确定。最可能的数值是 1.95 卡・厘米$^{-2}$・分$^{-1}$。这个数值的意义是说，地球上每平方厘米在每一分钟内接受（当然假设在大气之外）的热量，足以使 1.95 克水增加温度 1 摄氏度。所以，地面上每平方米接受从天顶而来的阳光，折为功率



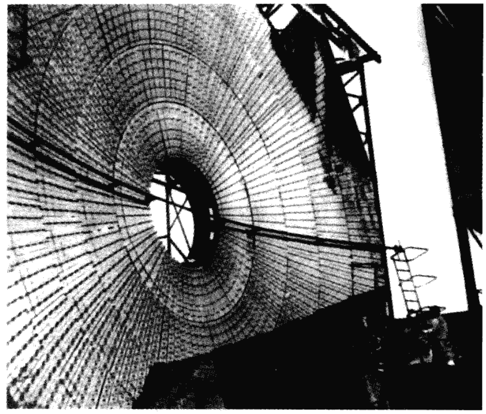


图 239 与图 240　在路易山上有几个太阳炉，是由大的抛物面镜吸收的日光烧热的。 最大的一个（图 239）表面有 900 平方米，这炉子是固定的，由一个活动的平面反光镜（图 240）而获得日光。 这抛物面聚光器和它的焦点上的装置见图 238，这太阳炉经常可达 3 000℃，可用的功率约为 7.5 万瓦

〔功率是每秒产生或消费的能量。大气的吸收使地面上每平方米接受的太阳功率大约只有 1 000 瓦〕约等于 1 360 瓦。但是，和太阳每秒钟所发射的巨大能量相比，这不过是微不足道的一点儿。从太阳常数出发去计算太阳所发出的能量是不困难的。我们所求得的数字，以瓦为单位表示，是 38 后面加上 22 个零，即 3 800 亿兆瓦，等于地球上所有的发电站、蒸汽机、高炉、马达……总和功率的几千兆倍。既然知道太阳的总面积，我们便容易算出它表面上每平方厘米发出 6 200 瓦的功率。如像邮票那样小的一块太阳表面，它所发的能量足以点燃 60 瓦的灯 100 盏，而且这小小的面积比 100 盏灯还要明亮，因为它所发出的能量大部分都以光的形式出现，而白炽灯却不是这样的。

太阳表面每平方厘米所发出的功率，给予我们一种测定日面温度的方法。根据日常的经验，一个物体每单位面积发光愈多的温度愈高。电灯丝被电流热至 2 000℃时比 500℃或 600℃的火炉的内部要明亮得多。不但是物体的辐射总量，即使它的辐射的颜色或者波长，亦随温度变化而变化。例如 600℃的火炉发射的主要是红外线和一些红色光，温度增加时，可见光的成分也增加，红色愈加鲜明，再转向橙色，乃至白色。所以一个辐射体的温度和它所发射的总功率有关系，而且也和这功率在各种波长（特别是极强的辐射的波长）上的分布有关系。

这些关系不是简单的。辐射光谱的强度和分布，不但随温度而且随物体的性质而变化。譬如有一只发光的白炽灯，它的灯丝看上去膨胀很大，它的边沿十分清楚而明晰，这表明只是灯丝在发光，而灯泡内的气体氮或氩是完全透明的，即使在很接近灯丝的 0.1 毫米处，温度可以接近 2 000℃，这些气体也不发光。再举一个实验：在同一气体火焰里放一

根玻璃丝，再放一根铁丝，虽然它们都处在相同的温度之下，但却不是一样的光明，铁丝的发光强烈得多。这些日常的事实使我们明了一个重要的物理定律，它是19世纪的物理学家经过长期的研究以后才发现的，名叫基尔霍夫(Kirchhoff)定律。一个愈不透光的物体烧得愈是明亮；透光的物体即使烧得很热，可是也不明亮。在一定温度之下，物体所能达到的最大亮度是完全不透明的物体的亮度，这样的物体叫做**黑体**，黑体显然可以热到像雪那样白。

完全的黑体实际上是没有的，这是物理学家理论上的创造物，可是它的用途却是很大的：一方面它具有很简单的性质；另一方面，许多真实的物体的性质和它相当接近，可以把由这个理想的物体所得的结果应用到实际情形中去。

黑体每平方厘米所放射的总能量〔这里的黑体必须放在真空里，除了它自己的辐射以外，便没有别的能量可以和外界交换〕只和温度有关，随温度的四次方而变化(斯忒藩定律)。

对一个类似于黑体的物体所发射的辐射能量的测量，给了我们一个测量温度的方法，费里(Féry)的高温计便是利用这个方法而制造的，常作为工业上测量高温的仪器。可是需注意，这样测温的标度和通常的一百度表的标度是不相吻合的。百度表的零点是表示正在融化的冰的温度。可是一块冰已经是一个显著的辐射体，黑体完全不发出辐射时的温度还在冰点以下273℃，这叫做**绝对零度**。辐射所表现的这种温度叫做**绝对温度**。

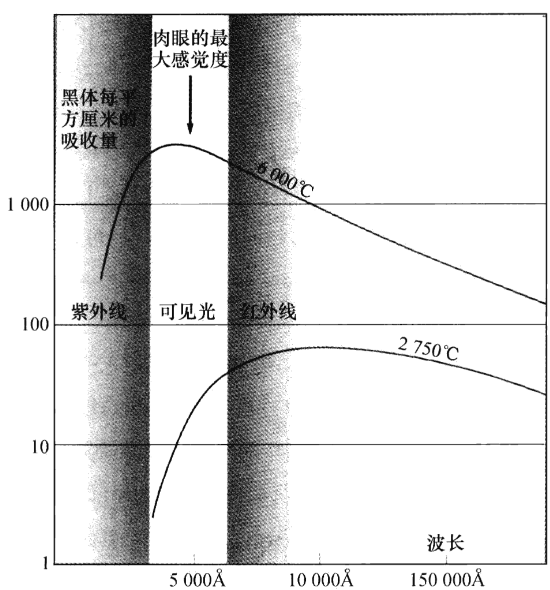



图241　各种黑体所发出的能量按波长的分布

最冷的黑体(绝对温度是2 750℃)主要发射红外波，大约是炽热灯的情形；最热的黑体(6 000℃)的辐射和太阳的辐射相近，极强处在可见光内。

我们已经说过，一个热体辐射的颜色，或者说在各波长上它的能量分布，也和温度有关系。对于物体来说，一个微小波段里的辐射的亮度，叫做单色光的亮度，由普朗克(Planck)定律所规定。这个定律在物理学上引起了一场伟大的革命。为了解释由实验表明的单色光亮度随波长的变化而变化，普朗克不得

不假设一定频率的光的能量不可能是一个任何大小的量，而只是一个能量量子的倍数，换句话说，光是由一种不可分割的叫做光子的微粒所组成的。被光子携带的和频率 $\nu$ 联系着的能量，等于 $h\nu$，$h$ 是一个普适常数，为了纪念这位天才的发现者，故叫做普朗克常数。

我们不想在本书中详细叙述 20 世纪物理学上的大发现，如像刚才所谈到的量子理论。这些大发现已经有学者在别的书里作过通俗的介绍，我们只想唤起熟悉无限小宇宙的读者的注意，而对于另外一些想知道这些问题的读者，则只引起他们的求知欲望。我们现在不得不回过头来，再谈谈我们的太阳。

我们说过，作为辐射体的太阳，它每平方厘米表面发出 6 200 瓦的功率，如果我们应用斯忒藩定律，我们便可求得太阳的温度是 5 750℃。这样求得的数字叫做光球的有效温度〔天体温度是根据它的辐射量的多寡的测量来确定的。光量的测量叫做光度学，当然是天文学家必须具有的技术〕。假设光球是黑体，这就是它的真正的温度。有两件事实可以说明太阳只可当做近似于理想的辐射体。首先，光球的能量按波长的分布并不与普朗克定律相吻合。有些光谱区段（如蓝色）非常强烈，而有一些区段（如紫外区和大于 2 微米的红外区）又相当微弱（图 242）。另一方面，黑体表面的每一个单元向各个方向发出相同的光量。我们可以从各个角度去看光球所发出的辐射，因为太阳是一个球。我们观看日轮的中心，便是从法线方向去看它的表面；如果去看它的边缘，便是从切线方向去看太阳。观测表明：在日轮上，愈向边缘愈变昏暗。可是对于球形的黑体，它的圆轮上到处是一样的明亮。

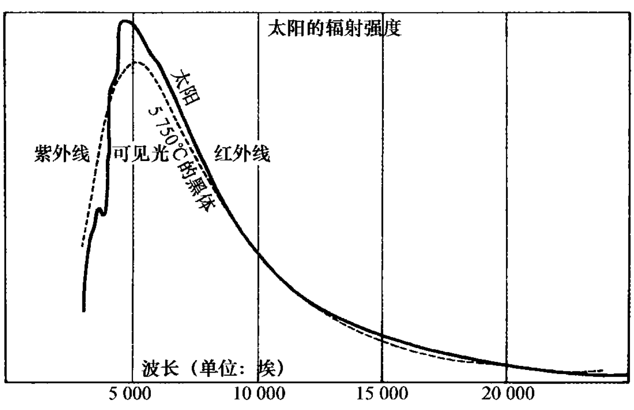



**图 242　太阳辐射和黑体辐射的比较**

两辐射体所造成的总能量相同，由图可见光球和理想的辐射体显然有一些差别。

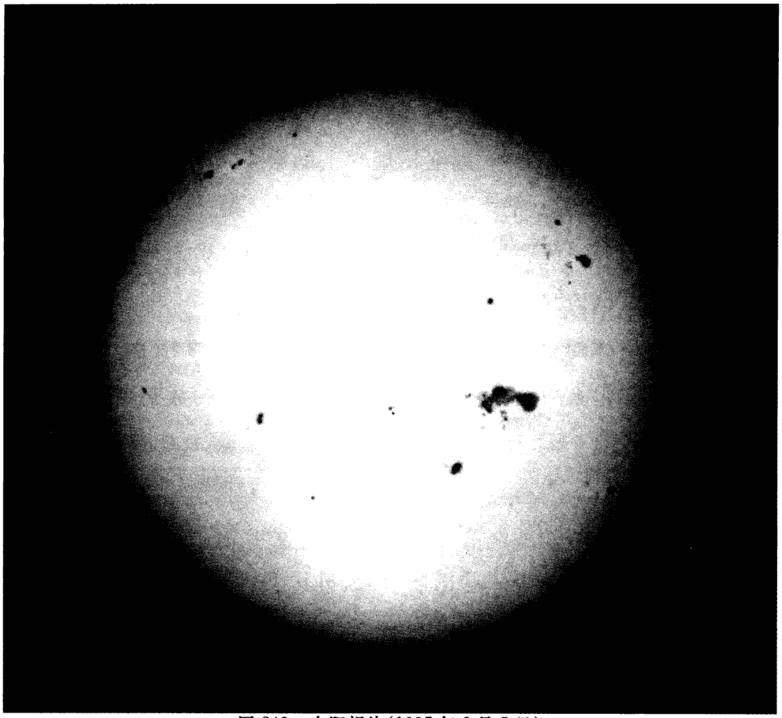


图 243　**太阳相片**(1937 年 2 月 5 日)

注意边缘昏暗现象,这说明太阳面是由部分吸光的气体所组成的。1937 年是太阳活动极盛的一年,黑子多而广,在边缘附近出现的黑子有明亮的光斑围绕。

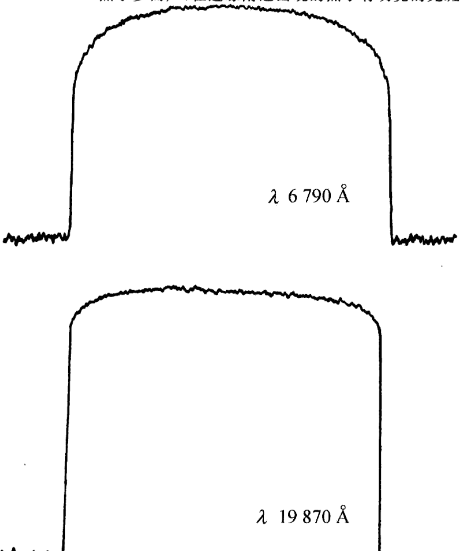



图 244　**光电记录**

表明太阳的亮度怎样自中心至边缘而变化,注意临边昏暗对于短波辐射的影响更为显著。

可见光球并不是黑体,它的有效温度至多仅是它的真实温度的一个大概数值。可是从这一提示出发,足以使我们明确,太阳的表面区域很可能是在气体状态下,因为固体或者液体不能存在于 6 000℃的高温下。

日轮的临边昏暗现象,是很容易得到解释的。光球是一层半透明的气体,愈深处温度愈高。先从垂直于表面的方向(如日轮的中心)去看这层气体。在这个方向上,光线在达到表面以前所经过的吸光物质的深度是最薄的(图 245、图 246),而从较深也是较热的下层所出来的光,自然比较强些。现在再讨论一下从一个相当大的角度去看光球层,或

者说看日轮的边沿的情形。这个和法线有很大角度的方向、从某一深度处所发出的光线，在达到表面以前应该走一段比较长的路径，只有从较冷的临近表面层发射的光线才能发射到外面去，所以这样的光是比较微弱的。这样至少在性质上解释了临边昏暗的现象。至于这个现象的数学理论，已于 1906 年由 K. 史瓦西(K. Schwarzschild)求得。理论和观测数值的一致，是理论天体物理学最早得到的一个大胜利。

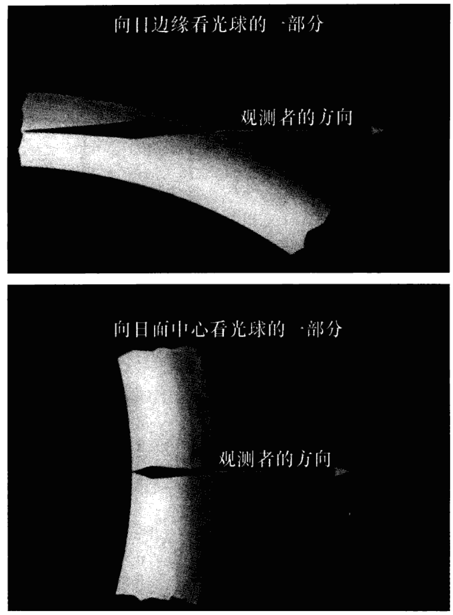



图 245　观测者从日轮中心所接收的光线是由光球深而热的区域而来的，日轮边缘的光线是从浅而冷的区域而来的，所以它没有那样强，这样足以解释临边昏暗的现象。图中光线的形成区以粗黑线表示

由此可见，光球不是一个真正的表面，它是一层半透明的气体，温度从大约 4 300℃开始向太阳内部逐渐上升。这一层的厚度大约是 300 千米〔这个数据好像很简单，实际上经过许多周折，而且必须对光球的物理性质有精深的认识，才能求得〕。更深层的辐射在达到表面以前已被吸收，至于太阳大气的更外层部分基本上是透明的，只发出一点不足计较的光而已。这个上层的温度大约和光球区的平均温度相同，对于半径达 70 万千米的星球来说，这显然是很薄的一层薄膜罢了。

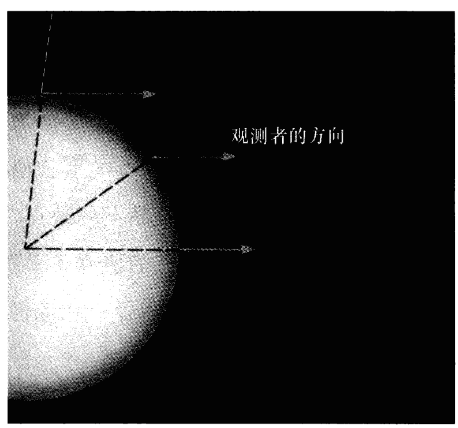



图 246　眼望日轮中心的观测者所接收的光线是垂直于日面发出来的。如果他望边缘，他所接收的光线愈近边缘，和光球的法线所成的角度愈大

直到现在，我们只是把太阳的表面当做是一个辐射体来研究，我们应用斯忒藩定律和普朗克定律求得它的温度。以上这一切，有些读者会觉得相当枯燥无味。我们试看一下光球是不是仅仅一层没有什么变化的 5 000℃至 6 000℃ 的气体呢。让我们再回来叙述丰富多彩的天文学中忠实的读者们所极想知道的部分。在开始之前，我们必须先向天体物理学家阿博特致敬，他首先精确地测定了太阳常数、临边昏暗和光球辐射的光谱分布。阿博特的研究是从实用的观点出发的，他和资助他工作的斯密逊学院都以为太阳常数是有变化的，

而且这种变化直接影响了气象。骤然看来，这个观念好像是错误的，可是阿博特的结果在今天仍然是太阳物理的基本知识。确实，一个做得好的科学工作是永远有利于人们的。

## 黑子、光斑、米粒斑

要把日面的相片拍摄好是很不容易的事，因为日面和照片之间有空气的障碍。日光首先须经过3000米至4000米高的、既不均匀又在扰动着的一层大气，这层大气的扰动也就是使星星闪烁的原因。如果日光贴近地面射来，更严重的困难也来了：由于日光的作用，安装望远镜的圆顶、墙和屋顶、仪器的金属部分以及周围的土地都被晒热，于是这些受热部分附近的大气产生激流，这和夏季烈日炎炎下在路上或者海边我们所看见的灰尘跳跃一样。在这样扰动的大气层里，气压和折光率每一点都在变化，透过这样的气层去看太阳，就像透过破玻璃去看风景一样。在万分的留心、多次的失败之后，我们才可能拍摄到大致满意的如像本书内所复制的光球的像。自然，肉眼观测也遇到同样的困难。

光球上最显著的现象是**黑子**，有时用肉眼便可以看见，其范围之大可以超过10万千米。席奈尔本是一位天主教的教士，他却首先观测到日面黑子，这是违背他本人和他的神父意愿的事。原来太阳一向被人尊敬为纯洁无瑕的天体，那时的官方学者绝没有人敢想到太阳表面上会有斑点，那时这是谋反叛逆、离经叛道的事。这位教士反复观测，对于黑子的存在已经没有丝毫的怀疑，他跑去看他的神父——一位热烈拥护亚里士多德学派的人。他绝对不相信有这回事，他对席奈尔说道："我读过了几遍《亚里士多德全书》，我敢告诉你，那里面并没有谈到有这类的事。"他把席奈尔遣走，还说道："去吧！孩子，放心吧，这一定是你的玻璃或者你的眼睛上的缺点，你错误地把它当做了黑斑。"在那个时代里，对经典的崇拜远远超过对于自然的研究。幸而有敢自由思想、不受羁绊、喜爱观测的人，如德国的席奈尔、意大利的伽利略，以及一切像他们这样爱观测的人，都证明黑子的存在是千真万确的事〔其实中国古代史书上早已记载了公元前28年发现的世界上最早的太阳黑子记录。——译者注〕。

如果我们在一张图上记下黑子每天的位置，我们就会发现它们的视行：在靠近中心时要快一些，临近日轮的边沿时好像走得很慢。图225是三个多世纪以前席奈尔所绘的黑子路径图。这幅图足以表明这条视轨道是曲线的，黑子临近边沿时便变圆形而成椭圆形，随之更缩小，成为直线而消失。这样的变形只是表面的，我们所看见的现象是投射在一个平面上的，事实上黑子是在一个圆球上面。这也可以说明太阳不是一个平面的轮，而是一个围绕着自己的轴旋转的球。

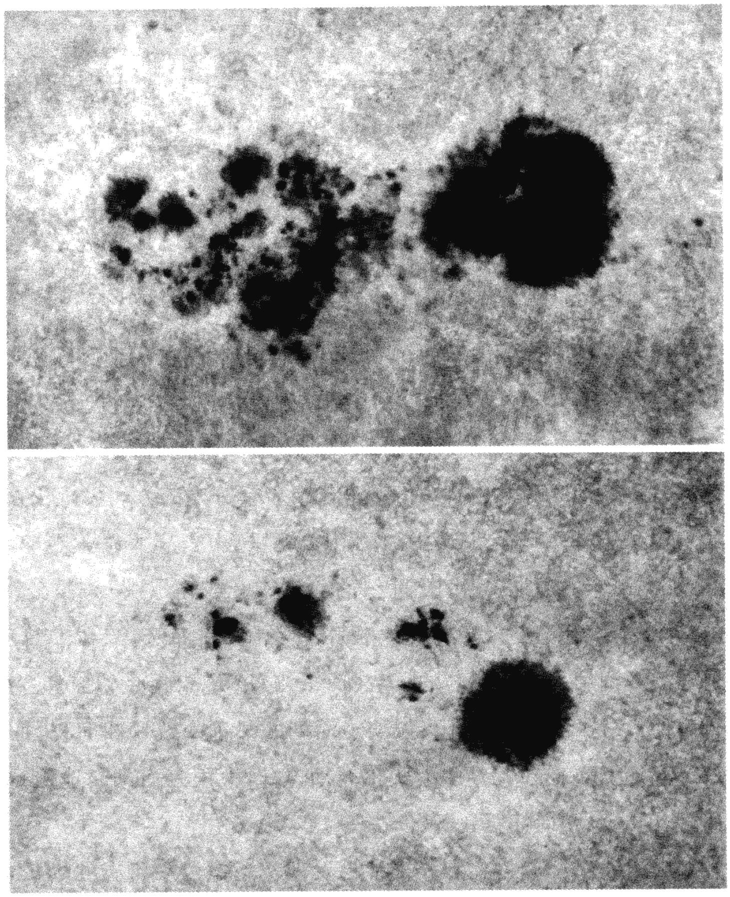


**图 247　光球的两个放大照片**
上图：一个复杂的黑子群（1885年6月22日）；下图：一个小黑子群（1894年4月1日），下图拍摄较好，显出精细的米粒组织。在这尺度上太阳的直径是90厘米。

我们暂且不谈黑子的物理性质，权且假设黑子固定在日面上，把它们用来作为研究太阳自转的标志。于是根据黑子在日轮上的视轨道和视速度，我们可以定出太阳的自转轴对于恒星的位置，以及它自转的速度。

太阳的赤道和黄道平面相交大约成7°的角。如果读者还记得各行星距离地球轨道平面是不远的，便会发现太阳绕轴自转和行星绕日运动差不多具有相同的轴。对自转速度的研究得出一个很不寻常的结果，这结果表明：太阳不是作为一个整体在自转，它表面上的黑子或别的标志自转一周所需的时间，随它距离日面赤道的远近有所不同。赤道上的黑子只需25天便转一周，但是在纬度40°左右处的黑子却需要27天才转一周。假使地球也是这样的，那么巴黎的一天比赤道上的布拉柴维尔（Brazzaville）的一天要长两个小时，而不是在一天里到处都是24个小时。由此可见，太阳并不像一个刚体那样在转动，所以，它表面上的物质在转动的同时还受到扭转。这种现象对了解太阳内部的情况是很重要的。

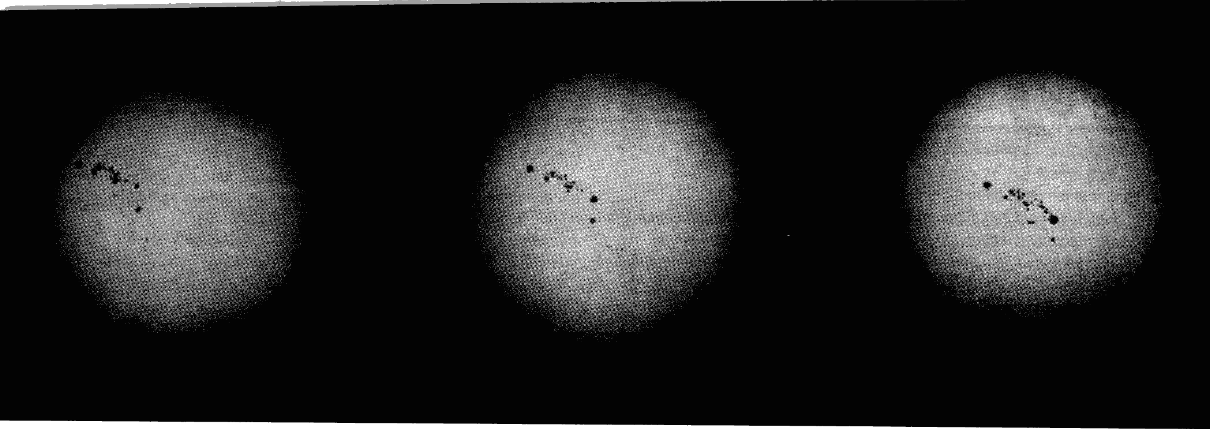


图 248　太阳的自转，由黑子群的视运动表明出来
这是 1920 年 3 月 19—23 日和 26 日所拍摄的。

黑子并不在太阳表面上到处出现，而只出现在两个区域里，席奈尔把这个区域叫做“大道”。这个大道从赤道起，一直到南北纬大约 40°为止。所以，从黑子我们不知道纬度愈高日面自转速度愈小这个推断，一直到两极是否仍然有效。但是，还有别的方法可以验证这是有效的，例如，由日珥的视运动或者借分光的方法去研究它。

黑子还有一个很重要的性质，在本篇开始关于太阳的概论里我们已经大略提到，那就是它的 11 年的周期。在 19 世纪的前三十几年内，一位德国天文爱好者施瓦贝（Schwabe），以观测太阳黑子，数它们的数目作为消遣。每天，只要看得见太阳，他便那样做。他把他的观测结果寄给有名的《天文通报》（A. N.），编辑主任迟迟不愿登载，以为这没有什么用处。过了 25 年，施瓦贝从他观测到的黑子的数目和面积，推算出黑子的变化有大约 11 年的周期。这个周期里有极盛时期，那时太阳表面不断地遍布着黑子；还有极衰时期，那时有几日、几周甚至几月没有一颗黑子出现。

沃尔夫（Wolf）搜集和分析了自发现望远镜以来所有的黑子观测资料，证明了这个结果。我们可以从两个世纪以来黑子变化的曲线图（图 250）上明白这种现象并不是很有规

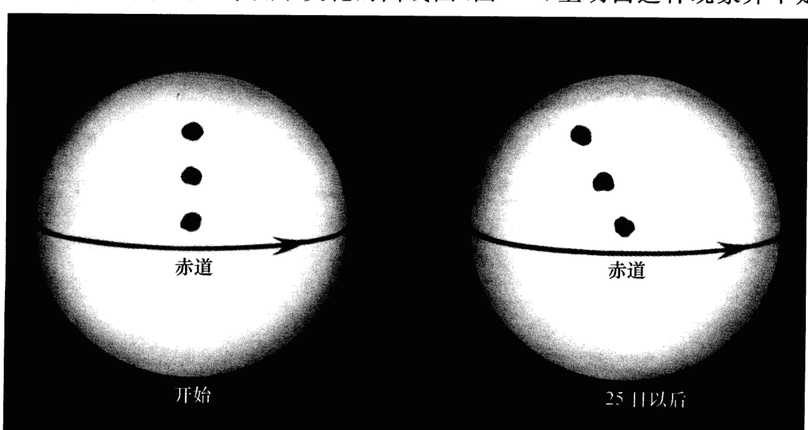
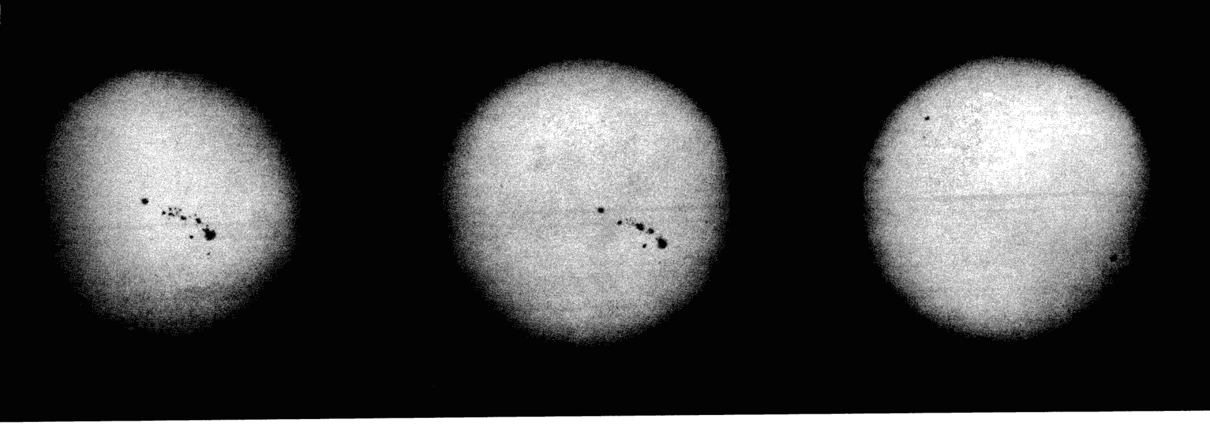



图 249　日面自转较差现象的示意图，赤道带比高纬度区自转得快些



律的。有些周期里，太阳比较平静；另外一些周期里，比较活跃。有些情形在周期开始两三年后便达到极盛时期，有时则要到11年周期的中段，才达到极盛时期。周期间的这些差异好像并不是没有关联的，它们遵循某些我们还不知道的规律，这些规律对于现象的了解无疑是很重要的。现在我们认为，在黑子的极盛期，太阳在做激烈的爆发，爆发愈强烈时来势愈猛，为期也愈长。每一周期开始的时候，黑子出现在纬度40°左右，和地面相当的纬度比较，可以说是在温带上。渐渐地，黑子的区域接近热带，随着就到了赤道，黑子也就稀少了。这种变化经卡林顿(Carrington)发现后又经斯波雷尔(Spörer)证明，黑子出现的平均纬度以11年为周期变化的情况，表示在图251的4张照片上面。

个别黑子的特性也和它们的统计特性一样有趣。一粒黑子在诞生前几小时，至多一天以前，有明亮的纤维状结构的光片出现，这叫做**光斑**。忽然一个孔穴出现在片状的光斑上，便产生了黑子。随着黑子长大，它的特征结构发展为黑沉沉的一个小范围。其中间相当黑的，叫做**本影**；周围比较明亮的，叫做**半影**；向径上分布有纤细的条纹。在同一区域里，产生一个有时几个黑子。在几天或者几十天以后，最小的黑子消逝，或者消融在大黑子里；大黑子也衰微而至消灭。光斑仍保留一些时候，最后也还是绝迹，可是在同一区域

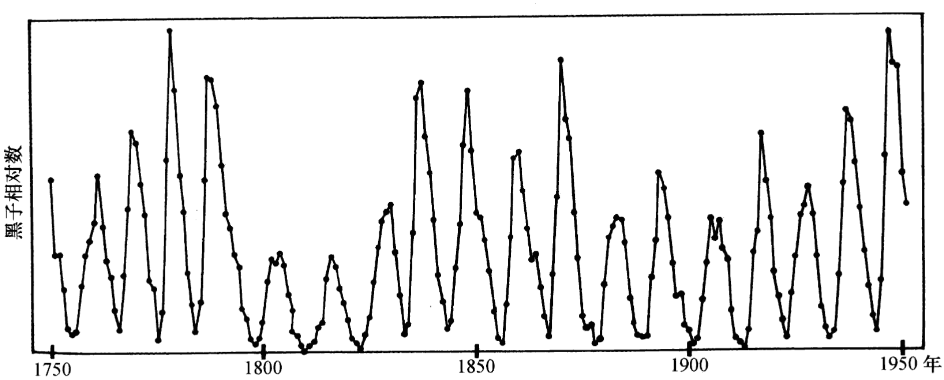



图250 自1750年至1950年黑子活动的变化

纵坐标表示每年的黑子的沃尔夫数字，这数字代表每日所见的黑子的数目与面积，11年的周期很显明。

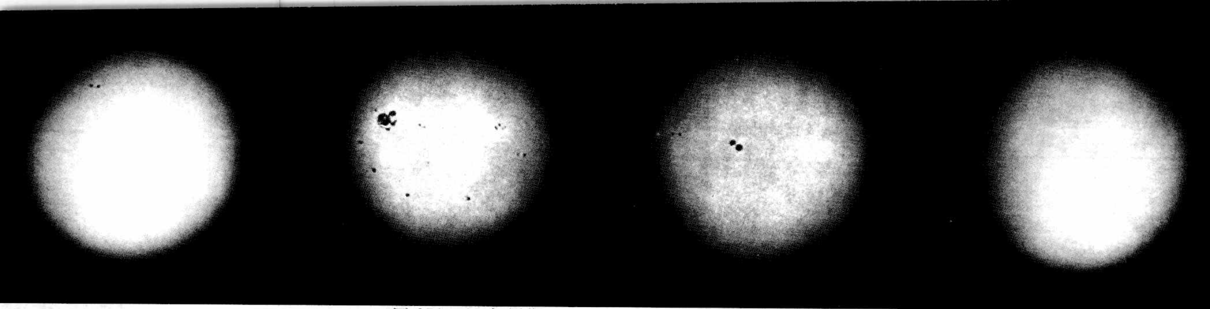


图 251　11 年周期里(1912—1923)各阶段的日面情况

除了黑子的数目变化以外，还有它们在日面上平均位置的变化。在一周期开始的时候，黑子出现的区域离太阳的赤道颇远，约在纬度 40°处。周期愈进展，南北两半球的黑子愈接近赤道；这现象综合成斯波雷尔定律。

里有别的黑子重新出现的趋势。黑子的寿命长短和它的大小有紧密的联系，最大的可以生存到三个月之久。黑子时常成对出现，同一对的两颗黑子差不多常在日面的同一纬度圈上。

黑子群是很活跃的，我们可以看见黑子的离合运动和小黑子在几小时内的生灭变化，还有在很大的半影内的亮点，以及发光的桥状物等一切还不明了的活动。可是另一方面，有些大黑子非常沉静，一直到它消灭的那一天都无丝毫变化，我们也不明白它消灭的缘

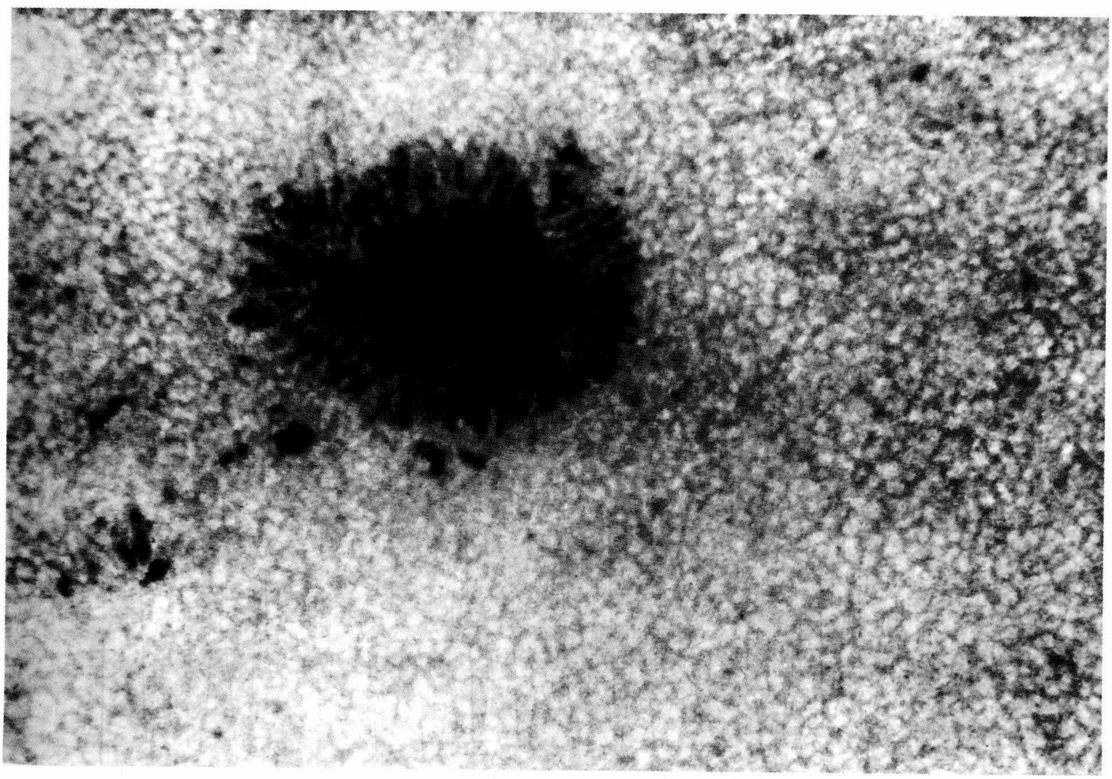


图 252　光球精细结构的拍摄虽然很困难，但李奥却拍得了活动影片，表现米粒组织的诞生、演变和死亡

这张图是他于 1943 年 5 月 17 日所拍得的照片的复制。在这尺度下，太阳的直径是 2.20 米。在这张图上，特别是在黑子的半影里，我们可以看出小至 300 千米范围内的细节。

故。在耀眼的日轮的背景上，黑子显得是黑色的，不过这只是陪衬的效果：一个大黑子本影的亮度还可达光球亮度的10%，它的有效温度（即按斯忒藩定律求出的）约为4 300℃。我们真不该说黑子是冷的啊！

上面说过，光斑是比光球明亮并伴有黑子的相当明亮的一片。光斑只在离日轮边沿不太远的时候才可以被人看见。这是说，组成光斑的特别明亮的区域处在太阳大气的外层，因为我们在前面解释过，当我们向太阳边缘观测光球的时候，我们所看见的是它的外层。这样，我们可以说光斑是太阳表面上的凸出部分。同样，我们可以把黑子当做太阳表面上的凹下部分。千万不要曲解这种文字上的比喻的意义。像太阳这样一团气体，不会有表面，也不会有明确的起伏，这里所说的毋宁说是一种光学的起伏：在光斑里光从比较高的地方发出，在黑子里光从比较低的地方发出。从前的观测者把光球当做像地面那样的有高低，把黑子当做真的坑穴，光斑当做真的山岳，这种错误是将外貌当做事实，将比喻当做真理看待了。

在结束对黑子的讨论以前，我们还须谈一下（将来还要谈到）它的另外一种重要的特性。根据对分光的观测，我们可以查出和测量出磁场。根据黑子的光谱（见第二十章），我们证明黑子无论是单颗的或者是成群的都具有很大的磁性。20世纪初，海尔（Hale）由黑子磁场的发现，首先证明电磁现象在太阳物理上有很大的重要性。

在太阳活动的强盛期间，除了容易看见的黑子和光斑之外，当观测情况良好时，在太阳的表面上还可以看见细小的米粒斑。光球绝不是均匀的一片，而像是在阴暗的背景上显现出无数明亮的颗粒。这些米粒的平均直径达1 200千米。它们在几分钟里出现、放光又复消逝。有些人观测到，光球上的米粒斑在日轮中心得到最大的陪衬而显现出来，愈临近边缘就愈少被人看见。这好像说明，米粒斑是光球深层的结构，因光球的表层是比较均匀的。根据理论的探讨和对米粒斑的观测，现代天体物理学家认为太阳的表层结构是这样的：外面是均匀而稳定的气层，里面的物质组成骚动沸腾的另外一层。就在这一层的不深处，出现米粒斑。

我们已经概略地讨论了光球的外貌，由黑子、光斑和米粒斑等可以看出太阳上的现象是怎样的活跃、复杂，而且神秘啊！

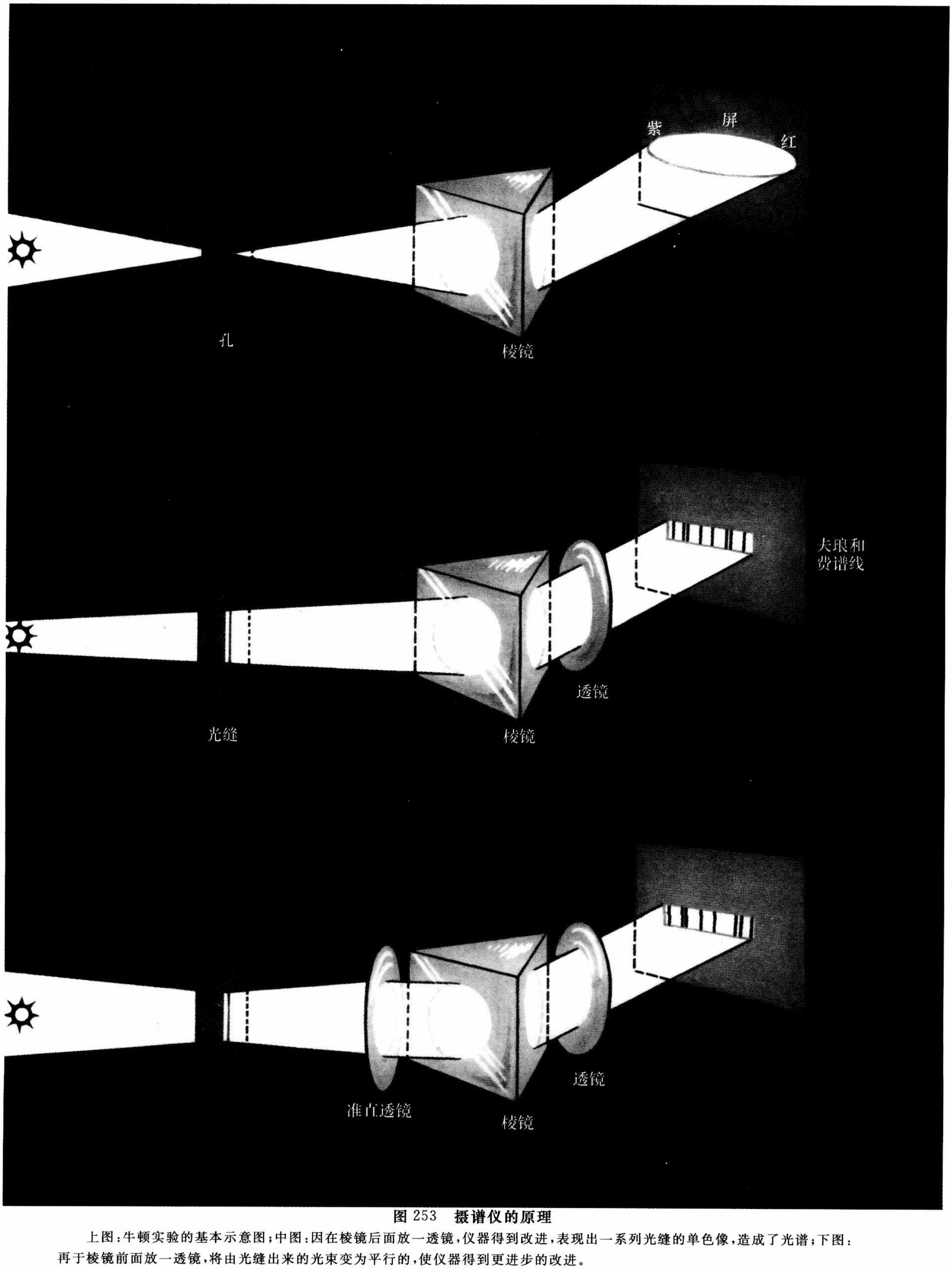



**图 253　摄谱仪的原理**

上图：牛顿实验的基本示意图；中图：因在棱镜后面放一透镜，仪器得到改进，表现出一系列光缝的单色像，造成了光谱；下图：再于棱镜前面放一透镜，将由光缝出来的光束变为平行的，使仪器得到更进步的改进。

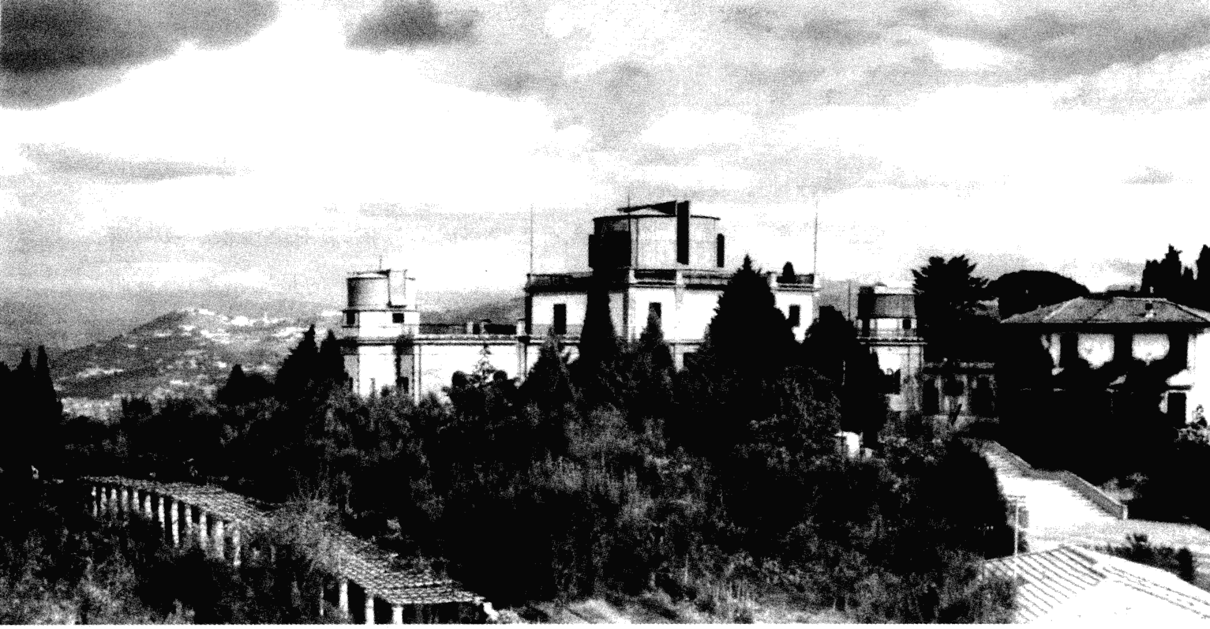


**图 254　阿尔塞特里天文台**

在佛罗伦萨附近，是伽利略工作过的地方，现在主要研究太阳物理。

# 第十九章

# 原子与摄谱仪

## ◀ 光谱学的历史和原理 ▶

大概是开普勒首先做了一个实验，这个实验貌似平凡，但对整个物理学来说却有着最伟大的意义。开普勒使日光透过玻璃棱镜，他看见日光被分解为有颜色的光束。一个世纪以后，牛顿再做这个实验，才明白这些颜色是光线的特性。我们所看见的白光，不过是许多有颜色的光的混合。开普勒和牛顿作为不朽的天才，不但在天文学上奠定了行星运动的理论基础，而且由于对光学的研究，还开辟了天体物理学的大道。

自扬(Young)和菲涅耳(Fresnel)的研究以来，人们把光当做是一种波动现象，认为光的颜色是和光的振动频率或者波长联系着的。棱镜的作用便是使由光源发出的具有不同

波长的辐射分散开来。我们把所要研究的光射在一个狭窄的光缝上(图 253),把一个透镜放在棱镜的后面,使光缝成像。照在光缝上的光有多少不同的波长,就有多少像。这一系列的单色像组成要分解的光的光谱。这种装置的仪器,如果接受光谱的是照相底片,就叫做摄谱仪;如果我们用放大镜去看光谱,这就叫做分光镜。

分光镜上最主要的部分,除了棱镜之外,就是成像的光缝和透镜。假使去掉光缝,由范围较大的光源而来的各种单色光互相交叠,彼此就分不开了。牛顿已经想到了光缝,可是他将棱镜所给的有色的光束投射在一张白纸上面。夫琅和费(Fraunhofer)才加上透镜,并且用放大镜去看光谱,这是一个很大的改进。另外再加上一个名叫准直的透镜,放在棱镜前面,使由光缝出来的光束平行,它是由西姆斯(Simms)在这之后所引入的,这样才成了这种仪器的现在形式。

18 世纪和 19 世纪初,除了日光之外,人们也研究了别的光线。发现有些光源所成的光谱是不连续的,中间只有几条亮线;另外一些光源所成的光谱是连续的,那里有一切颜色的光。换句话说,前一种光谱里只有几种波长在发光,后一种譬如说太阳的光谱,就发出任何波长的辐射。

现在我们来谈谈天体物理学的创始人夫琅和费的生活和伟大事业。他于 1787 年生在一个很贫穷的人家,11 岁的时候做了一个光学师傅的学徒,住在慕尼黑城的一间快要倒塌的破屋里。有一天,这间房子真的倒塌了,里面的房客都被压死,只有这个孩子幸免于难,可是也受了重伤。巴维尔(Bavière)封地的侯爷对这个没有死掉的孩子起了怜悯之心,给了他 18 块金圆,可是这个少年把这笔款子全部用去买了书籍和光学仪器。他独自辛勤地工作,不久就成了一名最能干的光学工人。19 岁时,他被一家制造玻璃和光学仪器的工厂雇用。三年后,他成了这家大工厂里的一位主任。

为了改进天文望远镜上的物镜,他从事于对棱镜和折光的研究。他重做了牛顿的实验,但是在棱镜后面加上一个小号望远镜来接收有颜色的光束,使得光谱特别清晰。他的棱镜比牛顿的优良得多。1814 年,他发现在太阳的连续光谱里有无数的黑线,这表明有些波长的光是没有的,至少在太阳的光线里是很微弱的。太阳光谱里的黑线以后就被人叫做夫琅和费谱线。他不但发现了这些谱线〔日光里 4 条重要的谱线早于 1802 年被沃拉斯顿(Wollaston)发现,他把这些黑线当做是颜色的天然界限〕,而且测量了它们的相对位置,绘出了光谱图。经过一系列的精巧实验,他证明这些黑线实在是日光的一种特性,并不是仪器的欠缺所造成的结果。

夫琅和费还对别的天体的光谱进行了观测,他发现金星的光谱和太阳的光谱是很相

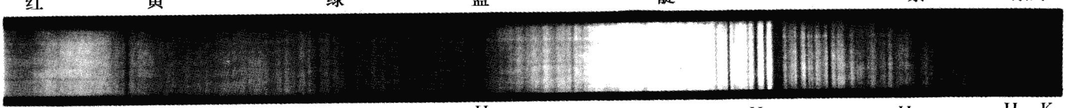



图 255 太阳的可见光谱和夫琅和费主要谱线

似的。对于明亮的恒星作分光观测，这使他很困难，同时也使他惊异，原来他在天狼星的光谱里看见了几条和日光的谱线完全不同的谱线。他又发现各种恒星有不同的光谱，就是这样，他开辟了恒星光谱学的道路。这位勤劳不倦的光学家，同时又研究了人为的光源。他特别证明了有一条明亮的黄线（毋宁说是两条紧接的黄线）在所有的火焰里几乎都存在。这对谱线所占的位置和太阳光谱里很重要的黑线（他叫做D线）的位置恰恰相同。这个事实在30年以后才得到解释：这条D线是由钠元素产生的，这种元素在地球上十分普遍，特别是它的氯化物，即我们所用的食盐里更多，所以地上光源的光谱里总是有这样一条线。火焰里只要有极少一点钠，便会发出D线。

夫琅和费还对衍射现象发生兴趣。所谓衍射现象，就是一束光经过小孔所发生的变形。他研究了这样一种情形：使一束自无限远来的光先受光阑的限制，再投射到一个物镜上，使它汇聚在焦点上。在实际应用时这是一种基本的方法，也就是用望远镜观测星时的情形。因为夫琅和费是一个制造望远镜的工人，无怪乎他对于这种装置感兴趣。他制造了许多望远镜，有名的一具是为多尔帕特（Dorpat）天文台制造的。在当时，那是巨型的，在W.斯特鲁维（W. Struve）手里做出了许多成绩。夫琅和费用一个光缝观测了衍射现象以后，再试两个光缝，最后并排了许多光缝。为了得到这样一系列光缝，他将一根金属丝缠在两个相同的螺丝钉上，这些线之间的空隙便形成了许多光缝，这便是最早的衍射光栅。这位发明人证明，白光经过这样的光栅以后分解为许多光谱，它们和用棱镜所得的光谱完全相似。

确切地说，有一线白光透过去并没有分解，在它两边有一系列的光谱。对于中心的白光偏折最少的，叫做一级光谱，其次是二级光谱、三级光谱等。在被光栅形成的光谱里，颜色的展开随级数的增加而增大。

夫琅和费制造了许多光栅，或者是把线缠在螺丝钉上面，或者是用另外的技术，例如将平行纹路刻在贴于玻璃片的金叶上面。他造了一架机器来做这项精细的工作，做到在1厘米长的金叶上刻上360条细纹！以后，他用金刚石尖在玻璃片上刻画，将纹路的数目较前增加了10倍。在这种情况下，两纹路间的玻璃起了光缝的作用（如果将被刻的玻璃片镀银，

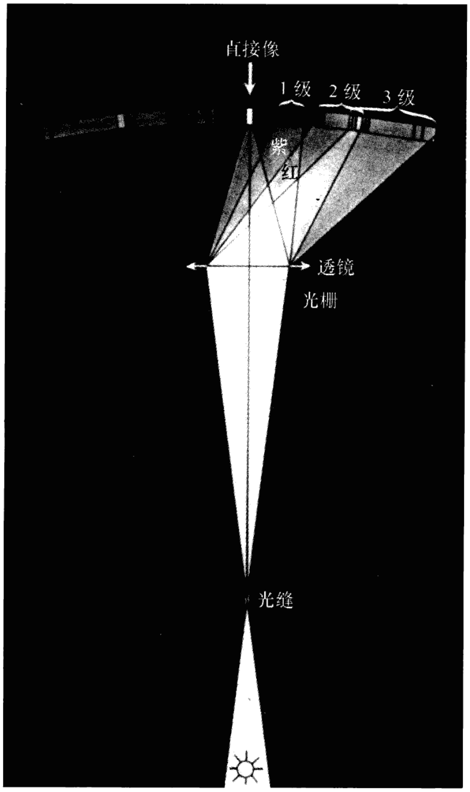



图 256 由光栅产生的几级光谱示意图，注意各级光谱可能互相干扰

我们便得到一个不透明和反光相间的表面，这便是反射光栅，今天用得很多〕。这样的光栅比分光镜里的棱镜还好，因为它更加容易使各单色的光散开〔夫琅和费根据经验定出由光栅所成的光谱的性质，证明了根据 $n$ 级光谱中一根单色谱线的位置来求它的波长 $\lambda$ 的基本定律。如果这条谱线被衍射的方向和中心白光的方向之间的角度是 $\theta$，则 $\sin\theta = n\lambda/d$，$d$ 是光栅上相邻两光缝间的距离。由这个公式可见，如果光缝间的距离愈窄，光栅便愈能将各波长的光散开。因此，这位天才的物理学家努力使光栅上的纹路刻得愈来愈密。根据这个方程式和用十几个光栅所做的测量，夫琅和费于 1822 年首先测定了钠的 D 线的波长〕。

科学上这一切伟大的成就都是在夫琅和费闲暇的时候做成的，因为他为商业服务，总是忙于磨制高级物镜，改良量日仪、动丝测微器、天文望远镜的座架等等工作。我们会问，在这样短暂的生命里（夫琅和费死于 1862 年，只活了 39 岁），他怎么会完成这么多伟大的工作呢？他从幼年起就开始学艺，做出了许多伟大的发明，未到 40 岁就死去了，他真可以算是物理学上的莫扎特〔莫扎特（1756—1791），有名的奥地利音乐家，死时才 35 岁。——译者注〕！

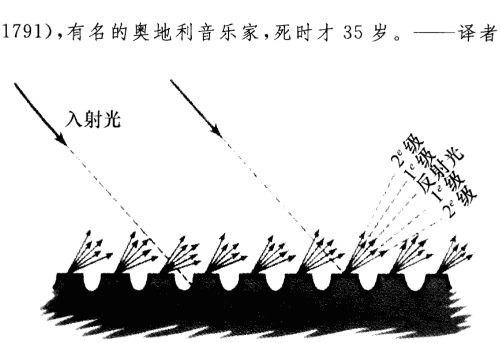



图 257 反射光栅的原理

在每根条纹之间所反射的光线是经过衍射散开在各方向的，但在某些反射方向上的光线效果相加，造成各级光谱。这只是一种原则性的解释，事实上却很复杂，在真的光栅上我们尽量缩减条纹的面积，光栅的形式也影响仪器的性质。

单单就仪器来说，自夫琅和费之后分光学的研究已算有了工具，但是要能了解现象，还有许多工作要做。在以后的年代里，各国的许多学者都向这方面作了努力。他们渐渐明白，光谱线实在是物体固有的特征。海德堡大学的物理教授基尔霍夫于 1859 年宣布了关于光谱分析的基本定律。该定律认为，物体对于某一波长辐射的吸收和发射的能力，有一定的不变的比例，这

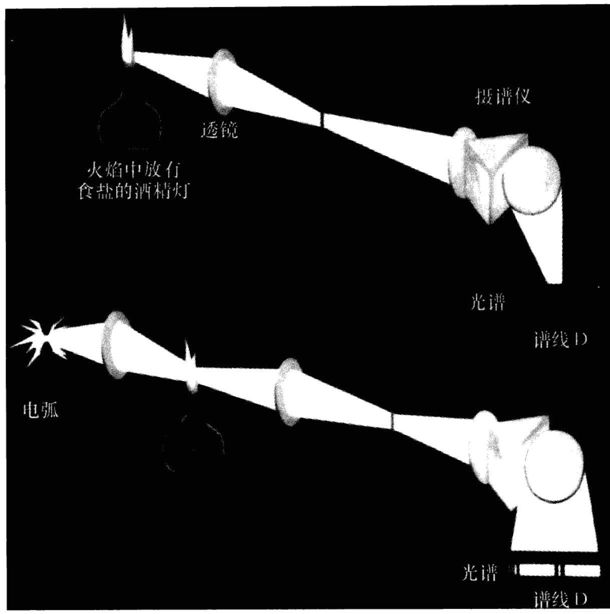



**图 258　基尔霍夫的基本实验**

放几粒食盐在酒精灯的火焰里，发出黄光，光谱中有两条明线（D 谱线）是钠元素的特征，如果一个高温的光源（如电弧）所发的光经过一个含钠的火焰，它的光谱便有吸收的 D 谱线。钠原子吸收的恰好是它所能发出的那一波长的光线。

比例只和温度有关。一个透明的物体发光也一定不会很明亮了，而且物体应吸收的与发射的波是具有相同特征的辐射；这些辐射，不管是吸收或者发射，总表明在所研究的光的路径上有这种物体的存在。光谱分析学就这样建立起来了。举例来说，在黄色区发出一条明线的钠蒸气就应该吸收强光源所发出的和这条黄线的波长恰恰相当的光（图 258）。这是基尔霍夫根据实验证明了的。他还说，太阳里的黑色 D 线的产生，是因为太阳的大气里含有钠的蒸汽，将太阳深层所发出的和钠的波长相同的光吸收了的缘故。因此，太阳的表面是气体的，借夫琅和费谱线，我们可以对太阳上的物质作化学的分析。基尔霍夫得到他的同事，化学教授本生（Bunsen）的帮助，进一步研究了这个问题。他在夫琅和费谱线光谱里，找得许多已知元素的谱线，于是证明太阳是由和地球一样的物质构成的（图 259）。同时，他们又将光谱分析法应用到化学上去，在研究了许多金属的光谱以后，于 1861 年发现了两种新的碱金属，即铯和铷。在这个例子里我们可以看见一位科学的天才只要掌握了正确而深刻的观念，他很快便会使自然泄露出无数秘密。

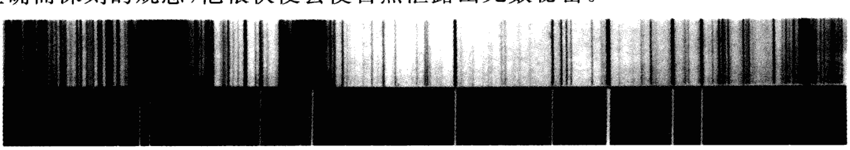



**图 259　太阳光谱和铁弧光谱的比较**

（近紫外区）我们看见太阳的夫琅和费谱线（太阳光谱内的黑线）有许多条和铁的特征明线相重合，所以铁存在于太阳的大气中。

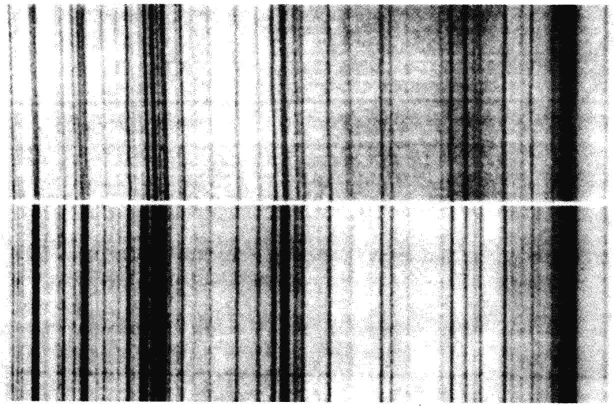


图 260 天顶附近的太阳光谱和地平附近光谱的比较，后一情况下有些谱线变强，表示它们是由地球的大气组成的大气谱线

也许读者会有些怀疑：为什么夫琅和费谱线不会是由于地球大气的吸收而来呢？1833年布鲁斯特(Brewster)就曾经提过这样的问题，并且实际证明：当太阳在地平线上，阳光须经过很厚的空气层才达到观测者的时候，有些夫琅和费谱线会变得特别显著(图260)。可是，大多数的夫琅和费谱线并不因此发生改变，这些谱线便是太阳的大气所形成的；另外一些谱线是我们的大气形成的，它们重合在太阳的光谱上面，这些黑线叫做大气谱线。由此可见，摄谱仪可以使我们对星球的表面层作定性的化学分析。化学元素(譬如钠)在星球大气里的这种选择吸收，自然和这大气里所含的这种元素的数量有关系，量愈多时，吸收也愈强。可见，夫琅和费谱线的强度，即在光谱里相应的单色光消失的程度，自然和星球大气里造成这条谱线的物质的丰富程度有关。由此可见，由谱线强度的研究可以对星球上的物质作定量的化学分析。这一研究需要对谱线的强度作精密繁重的光度测量。由此我们再一次看到，科学上一个重大问题的解决，是必须经过漫长而困难的技术改进的过程的。

## ◀ 多普勒效应 ▶

现在我们谈谈摄谱仪这种伟大仪器的另外一种用途，这便是利用多普勒(Doppler)效应去测量发光物质的速度。一切周期现象(包括光在内)的频率，随现象的来源和观测者互相接近或者离开而变化。要明了这个效应，假想有一辆汽车以每小时120千米的速度离开我们，同时发出一种周期的信号。譬如有一位狂人坐在车上，每30秒放枪一次。在继续两次放枪之间30秒的时刻里，汽车走了1千米，而枪声要多用3秒钟来走过这多走了的1千米，所以在第一次听到枪声以后，要经过33秒钟才能听见第二次枪声。所以，枪

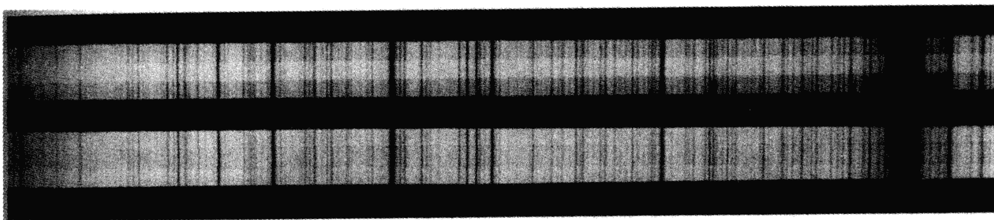


**图 261　由多普勒效应证明太阳的自转**

太阳一边沿的光谱被另一边沿的两光谱框着；夫琅和费谱线的微小错开，表示一边沿离开，另一边沿接近，换句话说，即太阳自转的情况。

声的视频率减少了一个分数，这个分数就是车速和声速之比。如果这位疯狂的驾驶人乘车回来，汽车和我们愈来愈近，那么每 27 秒内我们便可听见枪声一次。马达的响声是另外一种周期现象，因此也有同样的结果：在汽车和我们接近的时候，马达的响声要比它静止或者离开的时候尖些（因为频率更要高些）。如果飞机飞得不高，这个效应在飞机飞过的时候特别显著。当它在头上飞过的时候，马达的声调好像骤然间起了变化。飞机上发生的一切周期现象，例如无线电波的发射或者定位灯所发的光线都有这样的现象。当飞机离开时，这些光线更红一些；飞来时，这些光线更蓝一些。自然，我们的眼睛不会觉察频率上这样微小的变化，我们已经说过，这种变化等于飞机的速度和光速度之比。但是摄谱仪却能够查出多普勒效应所引起的谱线的微小位移。我们容易测量出，当光源和观测者之间相对速度超过每秒 1 千米时，在频率（和波长）上的变化只有它的三十万分之一。我们必须注意，借多普勒效应所求得的速度只是光源和我们远离或接近的速度（叫做**视向速度**）。至于不改变光源和观测者之间的距离而做的横向运动的光源，对于我们所接收的波长没有丝毫的影响。

多普勒效应对于天文学的重要性是可以理解的。例如，它可以使我们知道一颗星是离开还是接近我们，而且是以怎样的速度在离开或者接近我们。将太阳中心的和边缘的夫琅和费谱线的波长加以比较，我们可以测定太阳的自转速度，因为在自转中，东边边缘接近我们，西边边缘便离开我们。直接照相可以测量天体在垂直于视向方向上的位移，而摄谱仪又给我们以视向方向上的位移，所以我们可以求出星星在空间的真实位移。

## ◀原子与光▶

物体貌似连续，而实际是由无限小的颗粒（**原子**）所组成的，这个观念自人类有思想以来就存在了。德谟克利特（Démocritus）和卢克莱修（Lucretius）是古希腊罗马时代对于这个学说最有名的倡导者。到了近代，化学使原子的观念复活。一切化学变化，例如水的形

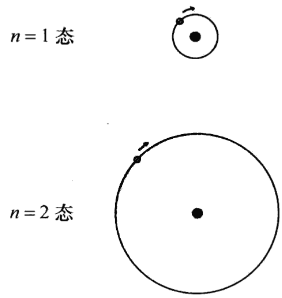
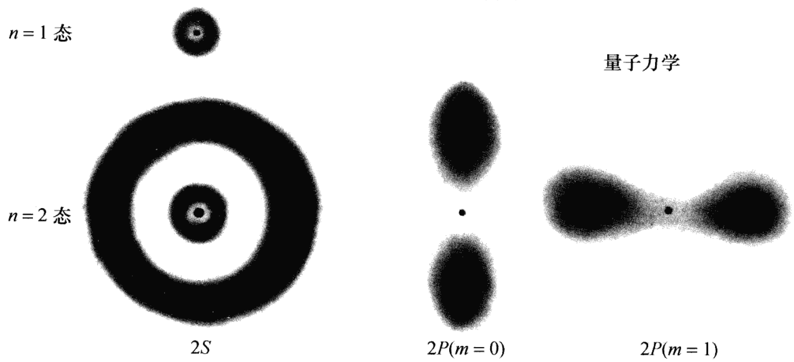



**图 262　这是根据玻尔的理论和量子理论所假想的氢原子的形象**

在玻尔的原子里，电子围绕原子核走一圆周轨道，轨道半径的长短随代表能量状态的特征数字 $n$ 而变化。最小轨道的半径（$n=1$）是 $0.528\times10^{-8}$ 厘米；$n=2$ 的轨道为其 4 倍，$n=3$ 的轨道为其 9 倍，在量子力学里不便谈电子的轨道，甚至没有电子的确定的轨迹。电子分布在原子核周围的云雾上，量子理论告诉我们电子在这层云雾某一点上的概率。在我们的示意图上，电子存在的概率愈大，代表云雾的色彩愈浓，这里的尺度和对于玻尔的原子所采用的尺度相同。在量子理论里，可能的状态更要多些。对于每一个主量子数 $n$，有几个能量基本相同的可能的原子组态。自然还有 $n=3$ 或 $n=4$ 等的状态，图上没有表示。




成，只需要有绝对一定比例的元素（氧和氢）。要解释这个事实，我们不得不假设水是由微小的分子构成的，而水的分子便是两个氢原子和一个氧原子的结合体。有一个重要的事实，即宇宙里只有 96 种元素〔现在发现的元素已经有 112 种。——编者注〕，虽然化合物的数目好像有无限之多，可是它们都是由这 96 种单质或者元素所组合而成的。

根据西文的字源，"原子"这个词的意义就是"不可分割的"。原子可以互相化合，有些原子有相似的性质，可以加以合理的分类（门捷列夫周期表），这一切事实都表明原子有一定的结构。两位英国物理学家汤姆孙（J. J. Thomson）和卢瑟福（E. Rutherford），确定了原子的结构。汤姆孙证明，各种元素，不管它们的性质怎样，都能发出电子〔例如物体在高温下，在光线照耀下（光电效应），都会发出电子〕，所以电子是构成原子的一个成分。卢瑟福建立了原子构造的一般形态。原子有一个带有正电的核，周围围绕着一些电子，电子的负电荷恰和核所带的正电荷中和，因此原子的电性是中性的。可见，使原子结合的力是电力，这和孩子们把自来水笔管在毛衣上摩擦所生的电能够吸引纸屑的力相似。

96 种单质的元素，在质量上、核的电荷上以及外围的电子数目上，都是不同的。原子

核的质量是氢原子核(质子)质量的整数倍,而氢原子核的质量是电子质量的1 838倍。氢只有1个电子,氦有2个,氧有8个,铀有88个。

现在我们要问:电子是怎样分布的?为什么它们不落到核里去?事实上,电子并不互相接近,实际上原子是很空的。原子可以比喻为一个网球场,场上放了一个小球(原子核),同时有几只蝴蝶(电子)在铁丝网边飞来飞去。起初有人假设电子沿轨道绕核旋转,因电力的规律是和牛顿的引力定律很相似的库仑定律,于是原子可以想象为太阳系的微小缩影。但是,人们不久就发现这样的比喻是不恰当的。因为,电子在椭圆轨道上运行,应当像无线电台的天线那样发出电磁波来。原子里的这种微小天线发出的波的波长非常短,以致发出的是光波而不是无线电波。但是,像这样的辐射,电子将会失掉动能而坠入原子核,正如行星停止运行便会坠落到太阳里去一样。事实上,原子是稳定的,这表明这种行星系的模型是不能接受的。玻尔(Bohr)、德布罗意(de Broglie)、薛定谔(Schrödinger)、海森伯(Heisenberg)等人的工作解决了这个困难。因为经典力学不能应用于原子内部,他们建立了一种新力学去说明这种无限小世界里的现象。这种力学就叫做波动力学或者量子力学,随我们的着重点放在两个相等情况的哪一方面而定。

电子和一切质点都被波浪陪伴和导引着(波动力学)。这些波的存在给予质点的运动以振动的特性〔例如,我们可以观测一束电子流受晶格的作用而产生的衍射现象〕。原子里具有基本粒子的振动,它不能譬如行星系,而应该譬如琴弦那样的振荡器。琴弦不能随便地振荡,在一定的张力和弦长的情况下,它只能发出一种基音及其谐音。同样,原子振荡器也不能在任意方式下振荡,它的能量不是任意的,而是经过量子化的(量子力学)。原子常常忽然由一种能量状态过渡到另一种能量状态,随着这种能态的改变常伴有光量子(或称光子)的吸收或发射。既然能量的这种变化不会是任意的,发射或者吸收的光子也不能有任意的频率或波长。这样一来,光谱分析的原理和各种物体有特殊的光谱这一事实,便都可以得到解释了。

我们现在讨论一下一种最简单的宇宙里散布的最广的原子,即氢原子。其他原子的性质和氢原子的性质并没有根本上的差异,只是其他原子比氢原子更复杂一些罢了。氢原子只是由质子和电子两个基本质点所组成的。这样的系统有一系列可能的状态与最低能量相当的状态,叫做基态,别的状态叫做激发态。要使原子由基态激发到激发态,必须供给它能量〔反过来说,当原子在其他状态时,它有失掉能量再回到基态的倾向。所以基态是最稳定的状态,因为原子只需一亿分之一秒的时间便能转回到基态去〕;这能量可以是由于别的质点碰撞,也可以是由于辐射的照耀而来的。原子所蓄积的能量也不能是任意的,而是经过量子化的,

就像表的弹簧一样，表的弹簧不能接受任何的张力，而只能够接受为制动齿轮所规定的张力。在退激发时，原子也像弹簧一样，归还它所接收的能量。一只冒失的手可能将表里的弹簧扭断，而对于氢原子来说，这样的意外事件就是损失一个电子，叫做电离〔各种状态下的能量形成一个很有规律的系列。每一个状态有一个对应的数字，叫做主量子数。由基态(1)跃至态(2)，原子要吸收的能量是 $R(1\sim1/2^2)$($R$ 是一个常数)，所以这颗原子吸收一个确定的辐射(光子)，其频率等于这一能量除以普朗克常数 $h$。这种辐射是紫外区里的一条谱线，叫做赖曼 α 线(记为 $L_\alpha$)，波长是 1 216 埃。同样，由态(2)跃至态(3)，需要能量 $R(1/3^2\sim1/2^2)$，原子吸收一条红色的辐射 $H_\alpha$，波长是 6 563 埃。由态(3)跃至态(4)，所需能量是 $R(1/4^2\sim1/2^2)$，吸收绿色谱线 $H_\beta$；如此类推……从态(2)起，氢原子的吸收谱线组成一个谱线系，叫做巴耳末系，系中第 $n$ 条谱线的频率是 $R/h(1/n^2\sim1/2^2)$。如果我们供给氢原子至少等于 $R(0\sim1/2^2)$ 的能量，是说，它吸收的光子波长短于 3 647 埃时，氢原子便电离了。在这种谱线系的极限之外，原子可以吸收任何频率的辐射而失去它的电子，因此有一个连续吸收光谱。上面所说的，自然对于发射也同样有效〕。

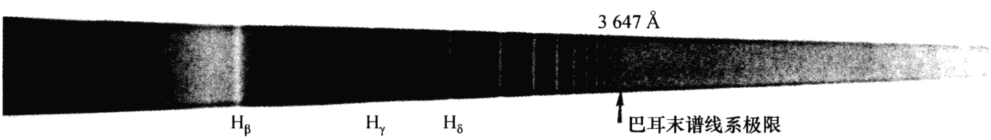



**图 263 天鹅 α 星的光谱(负像)**

这光谱里差不多只有氢的谱线(巴耳末系)。$H_\alpha$ 看不见，因为所用的底片对于红色不感光。我们看见巴耳末系里的其他谱线，逐渐溶成一个连续的吸收光谱。比 3 647 埃更长的波里氢原子只能吸收几条谱线，但是原子因失去它的电子，能吸收所有波长较短的波。

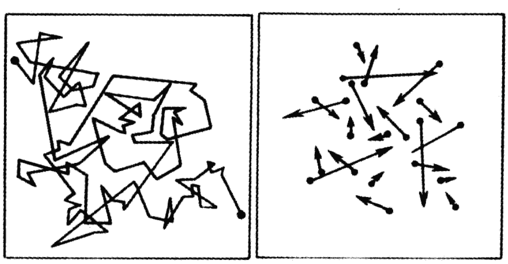


**图 264 布朗运动**

流体里一个分子运动的示意图，右图表示在某一瞬间一些分子的速度。

在太阳的大气里，所激发的原子和离子通常都很多，它们是由气体状的原子不断地碰撞而造成的。原来，气体的或液体的原子有一种永不止息的运动，名叫布朗运动(图 264)。温度愈高时，这种运动也愈迅速，因而原子间的碰撞也愈猛烈，激发和电离也愈增加。于是我们可以预见，随温度的高低不同，同一物体可以表现为不同的光谱，因为它的原子或多或少因吸收了某一谱线而受到激发。如果温度过高，所有的原子都失掉一个电子，我们便可观测到电离原子的特征谱线。例如，假使温度超过 20 000℃，电离氦的光谱(有一点像氢的光谱，因为电离了的氦原子也只有一个电子)便会出现。由此可见，恒星光谱里某些谱线或隐或现是它的温度的标志。于是我们得到分光学的一种新应用，即测量恒星大气的温度。

我们知道，这一章不会使读者满意。但为了使读者窥见摄谱仪对于天文学可能做出的伟大贡献，我们大略地叙述了原子的结构。这样的知识，对于我们了解太阳或者远方的恒星给我们的消息来说，是必需的。我们的叙述很不完全，无限小的和无限大的世界是不可能包含在同一本书里的！可是，无论怎样小或者怎样大，人们总是充满好奇、不知疲倦地向前探求……我们已经知道，摄谱仪可以使我们求得星球上的发光物质的化学成分、温度和运动，它真可算得是天体物理学仪器中的统帅。

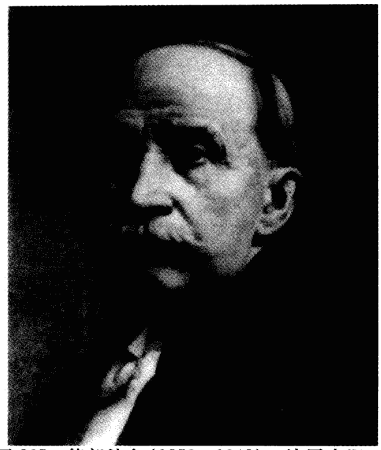


图 265　德朗达尔（1853—1948），法国太阳物理学家



图 266　默东天文台的一个太阳物理实验室

图前面是巨型摄谱仪；右边的凹面反射镜被从定天镜来的日光照着，将太阳的像形成在仪器的光缝上（图上不可见）；左边有 7 米长的照相箱，中央底部还有别的类似的仪器，注意仪器的重要部分安装在水泥砌成的砖柱上，以维持其所必需的稳定状态。

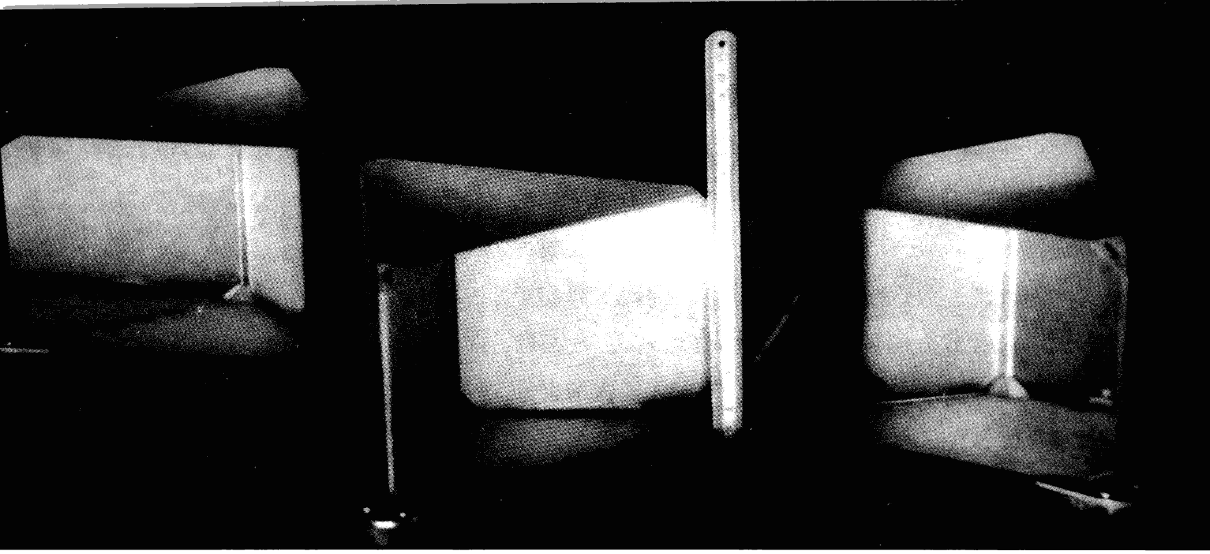


图 267　默东天文台摄谱仪里的一列棱镜，标尺长为 20 厘米

# 第二十章

# 太阳光谱带来的消息

## 大型摄谱仪和它的附件

既然摄谱仪是研究太阳物理学的主要工具，天文学家就在物理学家的帮助下不断地去改进这种仪器。

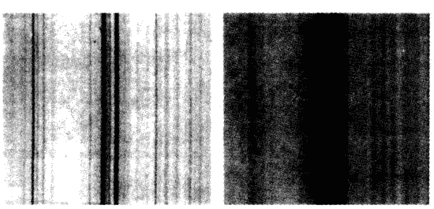


图 268　钠的 D 谱线附近的夫琅和费光谱

左图的分解度高，右图的分解度低，拍摄这两图所用的摄谱仪是一样的，只是拍摄右边一个光谱图时遮掩了光栅的一大部分，而且将光缝大开。注意左图中明白清晰的谱线，在右图变得模糊，如果分解度再减少，甚至可以消逝不见。

人们首先要求这种仪器能把两条很接近的谱线分开，用术语说，即要它有大的分辨力（又叫色散）。摄谱仪的这种性质很类似无线电收音机的选择功能。选择功能差的收音机把两个波长接近的广播混淆在一起，嘈杂不清；分辨力低的摄谱仪同样不能分开两条接近的谱线。还有一点，好的收音机能够接收很远很弱的广播，这种

品质对于摄谱仪也是一样的重要，换句话说，就是由好的摄谱仪所得到的谱线是明亮的。决定摄谱仪这两大品质（分辨力和明亮程度）的因素很多，而且有些是互相矛盾的。对于太阳的观测，因为它很明亮，一切的努力集中在增加分辨力上，时常就牺牲了亮度。

对于大型的仪器也常有这样的要求。如果我们使用棱镜，各种波长的色散都随光束透过玻璃的厚度而增大，于是要求制造很大的棱镜，这给了玻璃制造工业以严重的考验。至于光栅，分辨力也随它的尺度而增加，此外，如前章所说过的，分辨力还随条纹的紧密程度而增加。因此，曾有人努力在 20 厘米长的光栅上，在每 1 毫米内刻画几百条纹路。像这样在一片玻璃上刻画的 12 万条严格相似的而且平行且等距的条纹，连接起来可达 10 千米之长，这在技术上的困难可想而知。所以，一具好的光栅实在是一件精致的艺术品。

为了尽量利用大棱镜的或者光栅的分辨力（不管照相底片的颗粒的结构），使得能够分辨出最细最弱的谱线；天文学家常用几米长焦距的透镜（海尔在巴撒登那的太阳实验室所用的透镜的焦距达 25 米）去获得光谱的像。可见，太阳摄谱仪和化学家所用的小分光镜差别之大，正如大望远镜与观剧镜那样。

为了研究紫外光谱或者红外光谱，我们又遇到别的困难。首先，快要看不见的紫外部分不能透过玻璃，为消除这个障碍，我们用反光镜代替透镜，石英棱镜代替玻璃棱镜。对于红外区段，玻璃仍然透明，可是色散度变坏。而光栅对于一切波长都一样地使人满意。

照相底片对于紫外光谱和可见辐射是好的接收器，可是，对于红外线感光就不灵敏，到了 9 000 埃或 10 000 埃，照相底片就不能使用。那时，只好使用热电的或者光电的接收器。光电管在可见区和紫外区一样有用，因为在光度的测量上，光电管比照相底片还更灵敏、更准确。对于近红外区，硫化铅所做的光电管在现在是最好的接收器。对于波长在 3 微米以上的辐射，我们常用电阻测辐射器。在这种仪器里，辐射被插在电路（惠斯顿电桥）上的一根黑色导线所接收。这根导线受了或多或少的热，它的可变电阻便会使电流发生变化，于是可以量出这根导线所吸收的能量。阿博特就是用这样的仪器去研究太阳能量在它光谱上的分布的。

在这些仪器的使用中，我们所接收的光的分量总表现为电流的变化，被电流计测量或者记录。显然，它们一次只能被用来研究一个波长。由于棱镜或光栅的转动，使各波长的辐射依次投射在一条光缝上，这条光缝后面便装置接收器的灵敏面。于是，光谱就表现为按波长而接收的能量记录。在这个记录上，一条吸收线便成了一个谷（图 269）。

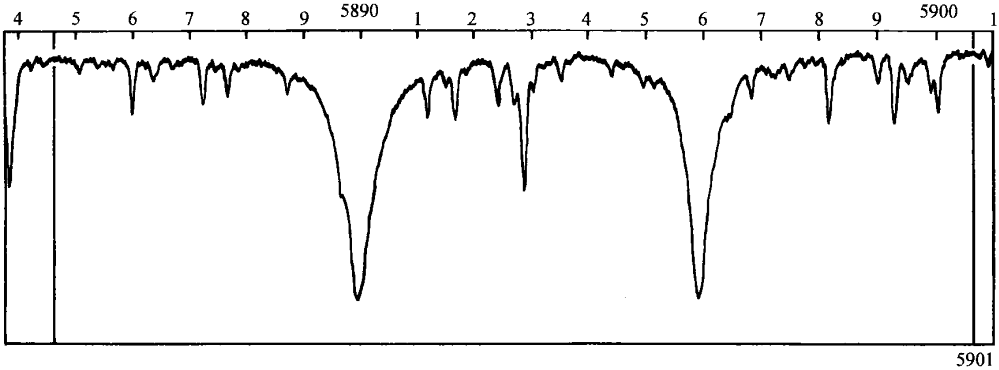



**图 269 太阳光谱在D线区域的显微描记图**

取自乌特雷希天文台所刊印的太阳光谱光度图。

电子管虽然成了接收辐射的有力工具，但是照相底片仍然使用得很多。照片有两个重要的优点：一方面，因为照相底片有积累它所接收的能量的本领，所以可以任意延长露光的时间，使微弱的辐射也能被记录下来；另一方面，照相底片可以探查而且测量照在它表面上的光，至于电子管接收器，只能每一次测量一个小点。可是，照相底片对于光度的测量是很不理想的，这种测量需要相当复杂的技术。利用一种名叫显微光度计的仪器，我们可以在露过光的照相底片上测量每一点的透明度。这种透明度和照在那一点上的光的分量有一定关系，哪一点接收的光愈强，当然它的透明度也就愈小〔当然，这里指的是负像（底片）。正像虽然具有美术上的意义，但是我们只能在底片的负像上做光度的测量〕。不幸这种关系随底片的性质、冲洗的情况、露光的时间以及光的波长而有变化。

如果在摄谱仪里照相底片的位置上安装一个光缝，选择出一个特殊波长的辐射，那么这种仪器叫做单色器。这种仪器常用以拍摄太阳表面的单色像，叫做太阳单色光照相镜〔这仪器的设计人是默东天文台的创办人让桑（1824—1907），后来被法国的德朗达尔和美国的海尔同时制成〕。在这种仪器的入光光缝上，投射的日像做连续不断的移动，放在“选择光缝”后面的照相底片应当有一种同步的运动，以便继续将入光光缝上所经过的日面各点的单色像不断地记录在底片上，结果便用所选择的那条单色光（至少是由选择光缝所限制的最窄的那一段波长的光）拍摄成太阳的像。这种仪器的变型，借肉眼用单色光观测太阳的，叫做太阳分光镜。有了太阳摄谱仪和太阳分光镜以后，我们对于太阳外层大气的知识有极大的增加，这将在第二十二章里叙述。在今天，这两种仪器可以用另外一种更灵巧、更光明的名叫偏振单色滤光器的仪器所代替，它是天才的发明家李奥〔这位科学家于 1952 年 4 月 2 日逝世，是天文学上一大损失〕所创造的，他的多种多样的发明我们以后还会谈到。

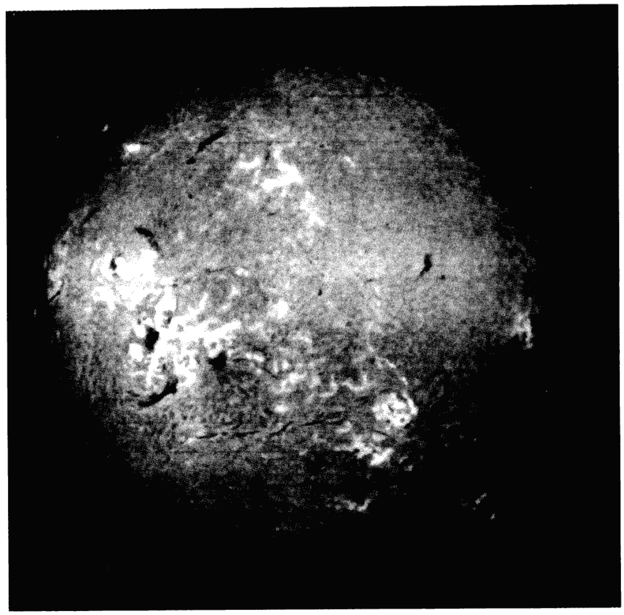


**图 270 太阳单色光照相图**

这是用一个波长的光里的氢的 $H_\alpha$ 谱线的中心所拍摄的太阳像。

## ◀ 太阳化学 ▶

我们说过，夫琅和费谱线可以用来作为形成这些谱线的太阳表面区域的化学分析。在这一群谱线里（在 2 975 埃到 10 218 埃之间至少有 21 835 条），天文学家能够鉴别出地上的大多数元素的特征谱线。至于还有一些元素的特征谱线没有被人查出，也容易作这样的解释：不是因为那些元素的特征谱线在看不见的紫外区域里，便是因为那些元素在太阳上含量很少，所以它们的谱线很微弱，不是用现在的方法所能测量的。

有一些化合物也在太阳里找到了，它们一般是由双原子组成的分子，例如 CN、$C_2$、CH、NH 等〔读者知道，元素是用符号表示的：C 代表碳，N 代表氮，H 代表氢〕。大多数分子不能在太阳的大气里形成，因为它们一旦形成便立刻被高温度下气体的碰撞所毁坏。有许多在太阳表面查出的分子，都只出现在黑子光谱里，因为那里的温度比较低，便于它们的形成。有趣的是，有些太阳上的分子在地球上是不存在的，因为在我们的实验室的情况下，它们是不稳定的。

总之，太阳上和地球上的化学组织在性质上是相同的，其不同之点也容易理解。但是，天文学家同化学家一样，并不满足于只求得性质上的知识，一位药剂师只知道他的药

品里有些什么东西而说不出它们的成分，还算得上什么药剂师呢？我们应当进一步，对太阳的大气作定量的分析，这个问题是和夫琅和费谱线的强度有密切关系的。

要细致地去研究这个问题，这在天体物理学上算是最复杂的问题了。自然，我们不会在这里把它的一切困难都陈述出来，我们只谈谈使一条吸收谱线或浓或淡的主要因素。为了达到这个目的，我们可以把太阳的大气当做有两层，中间被一薄层所分开。这薄层就是光球，下面一层是连续光谱的来源，上面一层叫做反变层，是造成选择吸收形成夫琅和费谱线的原因。这些谱线中某一条（例如钠的D线）的浓度，显然依赖于反变层中恰好处在所要激发状态下的钠原子数目的多少，可以吸收D这条谱线。反变层的钠原子中，有些是处在中性状态的（即没有因电离而失去外围电子），在这些中性原子当中，又有一些刚被激发到恰好能够吸收那条谱线的程度。事实上，光球发出的一个光子被反变层吸收，依赖于三种因素，这正如某城里的一位少女找到一位对象的机会一样，要看那座城里男性居民的多寡，这些男性居民当中的未婚者的百分数，以及这些未婚者当中愿意娶妻者的比例数。在各种激发状态下的原子的分布只和温度有关（波耳兹曼定律），因此，根据同一种原子的吸收谱线的相对强度可以定出反变层的温度，这样得出的结果叫做激发温度。至于中性原子的比例数，与温度很有关系，也大致与每立方厘米气体内的电子数有关。印度物理学家萨哈（Saha）用一个公式表示出这三个量之间的关系。既然我们已知温度，于是可以算出电子压力，因此我们有必需的条件去测定反变层内每平方厘米上的钠原子的数目。同样的方法当然也可应用于其他的元素，于是我们对于太阳大气中的物质有一种完备的化学分析方法。这一成就是1929年美国天文学家罗素首先得到的。

我们在这里所说的这些近似方法以及罗素本人的成就，都是不太合理的，因为把大气分做两层，一层产生连续光谱，另外一层产生吸收光谱，是与事实不相符合的。事实上，显然是同一大气产生各样的光谱。不过一般说来，吸收光谱比起连续光谱来，是在浅层里形成的。还有一种困难，吸收谱线随吸收原子的数目而变强，这个关系不是简单的定律所能规定的，而是被一个名叫生长曲线的复杂关系所规定，幸而我们能够根据经验把这个关系定出来。最后还有一个重要的一点，对谱线强度的研究需要纯粹原子物理学上的知识，例如，需要多少能量才可把一个原子激发到各种激发状态，以及这个原子将会做某一种跃迁的倾向，换句话说，就是它宁肯吸收某一种辐射的倾向。由此可见，太阳以及恒星的知识是和对原子性质的研究有很密切的关系。

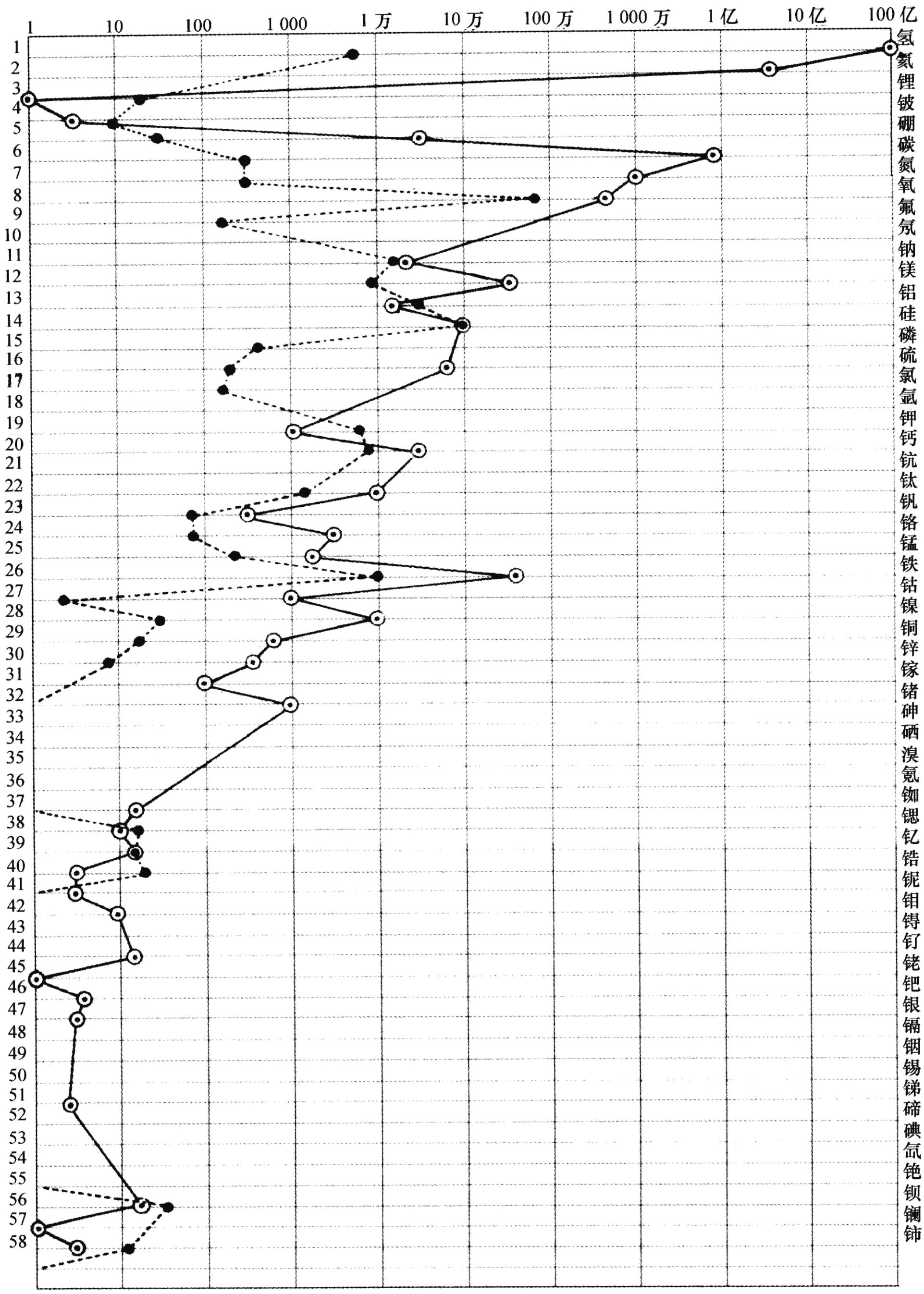



图 271　**太阳大气和地壳化学成分的比较(⊙代表太阳，●代表地球)**

以 10 万个硅原子为标准，这曲线表示各种元素的原子数目。平均说来，当原子序数增加(就是说当原子构造复杂)时，原子的数目减少。轻元素如锂、铍、硼，异常稀少，也许是由于在核反应里它们容易变化；太阳在过去可能因发光用去了这三种元素的储蓄。注意铁特别多，图中只表示了至原子序数 58 为止的比较轻的元素；其他的元素，一般说来，更要稀少。

由太阳大气的化学分析所得出的一个重要结果是，氢元素占绝大的部分。我们可以说，整个太阳(至少它的表面部分)是氢组成的，只含有百分之几的氦〔氦的含量特别难于测定。100个氢原子里大约有4个或5个氦原子〕，其他元素则微小到不足计算。一般来说，轻原子的元素，如碳、氮、氧，在太阳上比在地球上要丰富些。太阳上各种金属多寡的比例差不多和地壳内的情况相同。

以上所说的太阳化学和地球化学之间的异同之点，是很有意义的。无疑，地球在过去也有大量的氢和氦，也许在冷却时，地球才失掉了它的轻元素的气体。

## ◀ 光球的结构 ▶

我们已经谈过对夫琅和费谱线所做的一些研究而得到的知识。但是，在谱线的背景上还有一个连续光谱，现在来仔细研究一下。在第十六章里，我们已经解说过，连续光谱和黑体的光谱大有区别，这意味着组成太阳的物质不是完全不透明的，而且光球在太阳的大气里是相当厚的一层。既知这一层的化学成分、平均温度(见第十八章)和在这一层上引力场的强度，天体物理学家便能推测它的光学性质，从而和连续光谱的观测结果加以比较。这一研究经过很长时期均未得到满意的结果。这一问题于1940年始被物理学家维耳特(Wildt)光荣地解决了。他假设太阳上的物质是由一个电子和一个氢原子的复合体组成的，这样的复合体是地球上所没有的，它叫做氢的负离子。这样的离子，直到现在还只能从理论上去加以研究。由于波动力学的帮助，我们可以证明这样的离子是稳定的，而且还可以推出它的物理性质和光学性质。还可由电离的理论，可以推算光球层里氢的负离子的含量，结果表明它是不多的。这是因为氢原子吸收很少的光能，便很容易失掉它的这个附加的电子。因负离子的存在，使得太阳上的气体比我们所想象的更不透明，于是我们才得以明了连续光谱的观测结果，以致它的细小结构。这是新力学的一大成就，它能够很精确地计算地球上没有的但物理学证实其确实存在于太阳上的物体的性质。这又是说明太阳相当于扩大了的地球上的实验室的一个极好例子。

太阳上的气体和少量的氢负离子的透明度很小。因为我们已知一个离子的吸光能力，由对光球层辐射的研究，我们可以计算从光球发出来的一线光究竟碰着多少负离子。又根据太阳表面引力的大小(是地球表面引力的28倍)，我们可以计算太阳表面气体的密度。最后，我们可以决定光球的厚度，即决定太阳大气里完全透明和全不透明两层之间究竟有多少千米。这样规定的光球约有300千米之厚。这里面，压力的变化自1万至10万

微巴〔微巴指每平方厘米上受1达因的压力〕，约为地面大气压的1/1 000～1/100。

我们已经说过，太阳的大气里没有不连续的面，因此太阳也没有像我们所看见的那样一个清晰的边缘。可是，太阳上面在到了某一层气体时，即使是很薄的一层光也透不过去。根据我们粗略的观测，光球上300千米薄薄一层在我们眼里形成了一个确定的表面。但是，假使负离子不存在，光球会更透明，太阳的边沿便会模糊得多。

根据上面所说，读者应该记住，太阳大气里相当薄而却很重要的一层中的化学组成、温度、压力等，都是可以很精密地测定的，这是由于理论原子学家和对吸收光谱进行连续的精细的观测的人共同努力获得的结果。

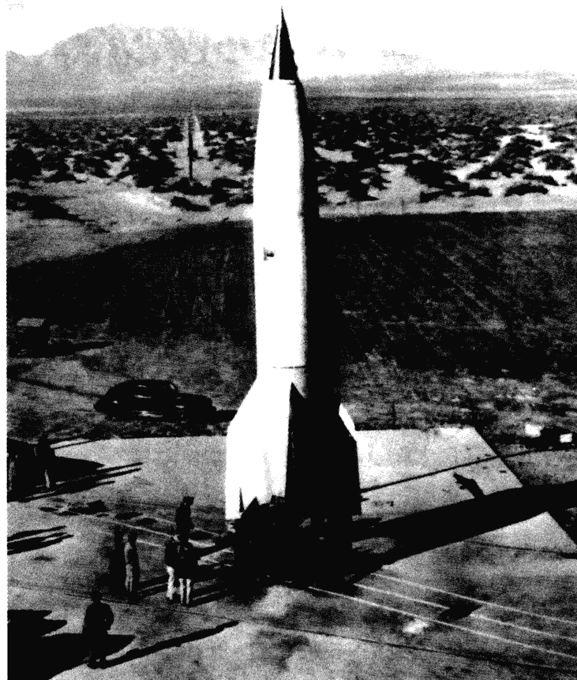


图272　为研究天体物理和地球物理用的火箭，在美国西部的沙漠里，图为施放前的情形

## 极长波和极短波的太阳光谱

为了增进摄谱仪所表现的太阳大气的知识，当然应该将这些光谱的波长的范围愈扩大愈好。如果我们只观测太阳的连续光谱中的可见部分，我们便不会证明氢的负离子是使太阳上的气体不透明的原因，因为氢的负离子在近红外区里（1.6万埃）有一个极显著的极小吸收的部分。天体物理学家不断地努力将观测推广到光谱的一切区域。因为红外光被地球上的水汽吸收，所以天文学家把他们的仪器安装在高山天文台里。例如阿博特的观测都是在沙漠的高原上做的，比利时物理学家米几奥特（Migeotte）亦曾在瑞士处女峰（海拔3 546米）对太阳的红外辐射做过长期的观测。红外区域里大气谱线最多，对它们进行研究所得的结果，对于地球大气的贡献比对于太阳大气的贡献还大。

为了推广到紫外区的光谱，只是到高山上去观测还不能解决问题。我们说过，大气中

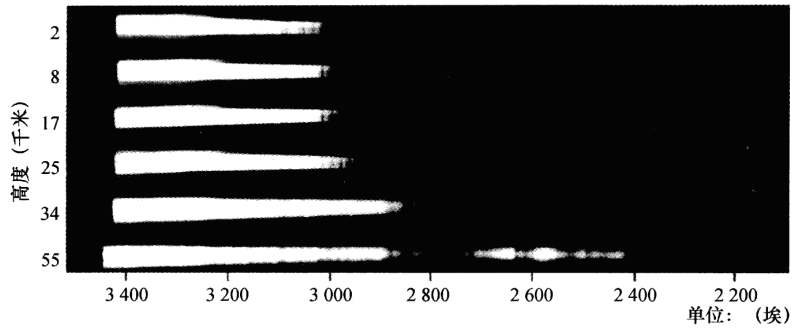



图 273 $V_2$ 火箭上升至各高度处所拍的太阳光谱

注意：当火线经过的气层愈少时，光谱愈向紫外一端增长；当火箭达到 55 千米高，这时已越过臭氧层光谱达到它最大的长度。

所含的臭氧把太阳光里可观测的波长限制在 3 000 埃以上。臭氧是氧的一种特殊形态，它的分子结构是三个氧原子，而不是像通常的氧那样由两个氧原子构成，这两种氧虽然只差一个原子，可是臭氧却成了能爆炸的气体了。在地球的大气里，臭氧的分布是不均匀的，在离地面 30 千米或 40 千米高空处，有一弥散的臭氧层。为了研究在这作为屏障的臭氧层以外的太阳的光谱，我们说过，应该把摄谱仪送到 50 千米的高空去，这当然有相当的困难。首先，必须要有一种运输工具，这便是火箭；其次，还需使装在火箭顶端或者翼端的摄谱仪的光缝常被太阳照着。为了达到这个目的，曾经设计了许多巧妙的装置。此外，还需设法把摄谱仪和拍摄后的宝贵的胶片收回来，这必须要有另外一种装置，使火箭缓缓下落，而且仪器还需坚固不致摔破。这样的飞升最先在 1946 年和 1947 年完成，将太阳光谱拍摄到 2 200 埃的极限。

在这样发现的光谱区里，最显著的特征是两条极浓的吸收谱线，它们可以算是太阳光谱中最引人注目的谱线，是由电离的镁所造成的。这些谱线的中心，显现出发射的状态，无疑是在太阳大气的极高层所形成的。这现象可以这样解释：下面一层气将光球里的上述波长的辐射完全吸收，因而上层中发光云的强烈发射得以突出。

对太阳紫外光谱的观测，虽然困难多、耗费大，但这是科学家所迫切需要的。对氢的紫外辐射赖曼 $\alpha$ 谱线的研究是太阳物理学家所最感兴趣的〔1952 年 12 月 12 日，在 80 千米高处拍摄的太阳光谱达到 1 200 埃的极限，赖曼 $\alpha$ 谱线以发射状态出现〕。

短波区段里再远一些，便是 X 射线的范围。要研究太阳所发的 X 射线，火箭更是必需，而且还需使火箭射到很高的上空去，因为组成空气的氮和氧很能吸收 X 射线。可是太阳光里比 10 埃还短的 X 射线，已经在 100 千米高的上空被人查出。在波长的另外一端，

即射电波，该范围中的太阳光谱我们了解得比较清楚。太阳的射电波是从它的大气的最外层发射出来的，在日食的时候，可以得到证明。因此，我们在后面还要讨论到这样的长波。

## ◀ 黑子的光谱·太阳的磁性 ▶

如果将黑子的像投射在摄谱仪的光缝上面，我们所得到的光谱和夫琅和费光谱颇有不同，于是给我们带来许多新的课题。中性金属谱线的加强，分子吸收光谱的出现，无疑表明黑子的温度要低一些。而且，在黑子光谱里，许多金属谱线都变宽阔或者分裂成几条谱线。发现这种现象的海尔证明，谱线的这种分解和实验室里光源放在强磁场里（例如放在强电磁铁的两极当中）的谱线的分裂是相同的，这种现象在物理学上叫做塞曼效应。一般说来，谱线被磁场分裂是很复杂的。最简单的情形，名叫正常塞曼效应的，谱线常被剖为三个分量，每一分量的强度随入射光束对于磁场所处的方向而变化，而且分开的程度是和磁场的强度成正比的。

在磁场的影响下原子性质的这种改变，在物理学家看来一点也不奇怪，他们把电磁学上的定律应用到原子的小世界里去，得到了很好的解释。电子在原子里的运动就像一种电流。我们知道，磁场对于电流有作用的力量，这便是表现在电动机上的力量。因此，电子的运动受磁场的影响，于是原子具有一种附加的能量。这种原子的磁能量不是任意的，与原子尺度里的一切能量一样，它是量子化了的，换句话说，这种能量的大小只能有几个确定的数值，它们随原子在磁场里的方位的不同而不同。能量经过量子化这一事实，表明原子在磁场里不能占任意的位置，而只能在几个特殊的方向上，这是量子力学的一个显著结果。磁化的原子在正常能级下，只能按它的方位不同具有几个可能的状态。有这几个可能的状态相应地便有这些状态的跃迁，因而产生了多条的谱线。

谱线的每条分线是从原子在磁场里的一个特殊的方位而来，这一事实更可以解释各种谱线的偏振情况。

要想明白什么叫做光的偏振，我们可以打一个比方：手执一条长绳的一端，再把它摇动。如果我们把这条绳子从上到下，又从下到上迅速地摇动，这样形成的振动便向绳子的另一端传递过去（图 274）。这样形成的振动叫做横振动，因为在波动经过的时候，绳上每一点运动的方向都和振动前进的方向正交。而且，这种振动发生在一个平面之内，即在起初手摇动绳子时所在的铅直平面之内。我们把这样的偏振叫做直线偏振。另外一种有趣

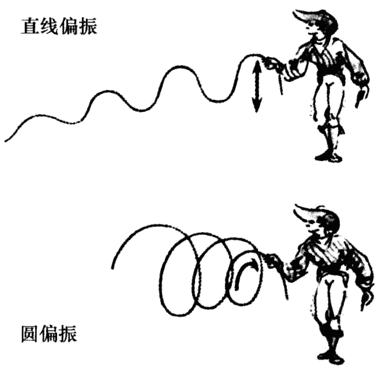



图 274　绳索的波动有一点像光的振动，这些波动可能在一平面内（直线偏振），或者在一圆柱上（圆偏振）

的情形，便是手做圆周运动，这样的圆运动沿着绳子传递过去，我们便得到圆偏振。

再回过头来谈谈光线。原子的作用像手那样，光则代表传播中的振动，至于绳子呢？……事实上没有人明白什么东西是和绳子相当的！对于光波的情形，我们不太明白什么在振动，可是我们至少了解光是一种横振动，并且可以直线偏振化或圆偏振化，这和上面所说的绳波完全相似。在一种原子占有任意方向的光源里，例如高温下的气体，这样的发射便不会产生偏振，这好像有无数只小手使绳子在各种方向上有很多种振动。但是，如果原子（例如受了磁场的作用）有几个固定的方向，它们所发出的振动将会是偏振化的。而且，偏振随所研究的光的方向而改变。在正常的塞曼效应里两个极端的情形，便是我们从垂直于磁场的方向去看，或者沿着磁场的轴的方向去看。在前一种情形里（横塞曼效应），三条谱线分量都是直线偏振化了的，中间一条平行于磁场偏振，旁边两条则和磁场正交；在后一种情形里（纵塞曼效应），旁边两分量变成圆偏振，中间一分量则不存在。总之，我们从塞曼效应可以求得磁场的方位、大小和方向。换句话说，对黑子光谱的研究，可以使我们知道在黑子上每一点磁针应指的方向，而且说出有多大的力量使磁针维持在那一个方向上。在地球上，固定磁针在一定方向上的力量是很弱的，但是在太阳的黑子里，这力量却很大，可以和强的电磁铁相比。计算磁场强度的单位叫做高斯〔这是磁场强度的一种单位，是为了纪念德国数学家和物理学家高斯（1777—1855）而命名的〕。地磁场的强度是 0.2 高斯，一颗大黑子的磁场可达 3 000 高斯。

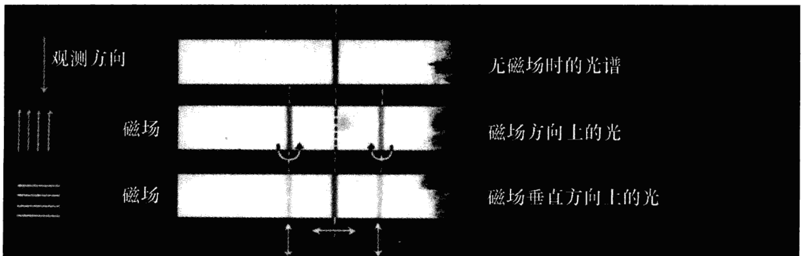
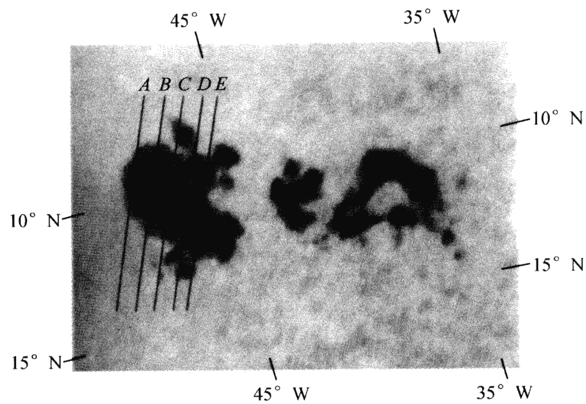



图 275　**塞曼效应**

谱线分裂为三条（如果我们从磁场的方向去看，其中一条便看不见），注意和每一个情形相当的偏振。



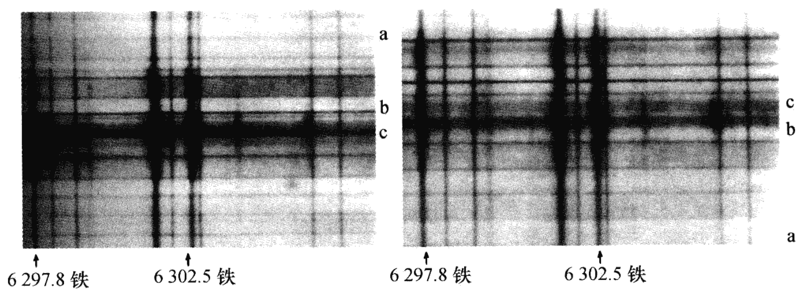




**图 276 黑子的光谱〔克吕贝尔(Kluber)拍摄〕**

在黑子群的照片上我们标出光缝被放在黑子上的几个位置，这里复制的光谱相当于 B(左)和 D(右)两个位置。水平向的光带是由特殊的滤光器所做成的，这些滤光器的作用在于寻觅偏振。塞曼效应将谱线分解的现象很显著，特别是 6 302.5 那条铁的谱线；不表现塞曼效应的细谱线是地球的大气谱线。在左边的光谱图上注意 C 谱带，它是一个纵向的塞曼效应的典型；右边的图上(横向效应)，水平向的谱带，不是少一个偏振化的分量，便是多一条谱线的分量(波茨坦天文台的照片)。

威尔逊山的天文学家对于黑子的磁场作过长期的研究，发现下列几种事实：

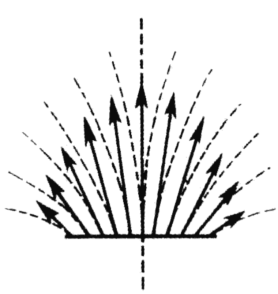


**图 277 太阳黑子上面磁场的形式**

(1) 一切黑子均有磁场。

(2) 磁场的磁力线(即磁针所指的方向)在黑子中心处和日面正交，这些磁力线从那里射出，好像喷泉的水一般(图 277)。

(3) 磁场在黑子中心极强，愈向外愈弱，直到半影之外，然后消失。

(4) 在没有黑子的地方有时亦查出微弱的磁场，这种不可见的黑子预兆着可见的黑子出现，或者是过去的黑子的遗迹。

(5) 大多数黑子群都是两个黑子组成的,叫做双极群。在这样的群里一颗黑子是磁北极,另一颗是磁南极。

(6) 在11年周期内,同一半球上,一切双极黑子群里,头黑子和尾黑子均有相同的极性,这极性因不同的半球和前后的周期而发生改变,有如图278所表示的那样。

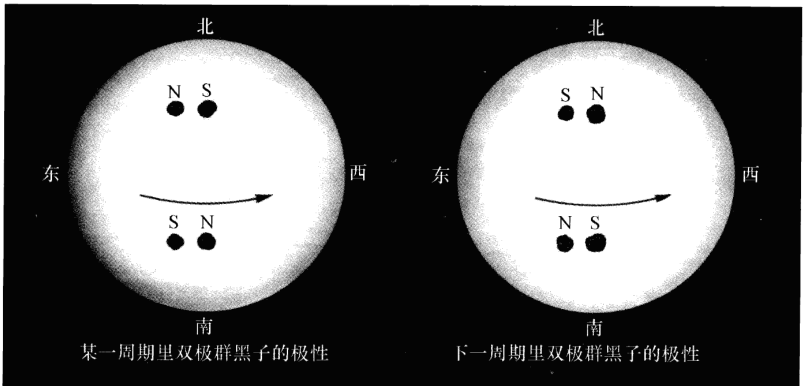



**图278 黑子双极群的极能**

在太阳活动的一个周期里(例如1945—1956),在北半球带头的黑子磁性是南,尾黑子磁性是北,在南半球恰好相反。在上或下一周期里这情形又逆转了。

上述这些观测结果,真值得作详细的解释。首先,磁场的存在就是一个问题,磁场常是发生于定向电荷的运动。在一恒定磁场(例如马蹄铁)里,常是原子本身被磁场排列整齐,例如一块钢受了磁化的情形,钢里的分子因其晶体格子的刚性,所以保持那个被排列后的方向。但是高温下的气体就不会被永久磁化。那么,我们该把黑子当做一个巨大的电磁铁。可是造成磁场的电流在哪里呢?在太阳的环境里,物质绝对导电且又是无限的广阔,在那里形成电流不是件容易的事,而且这电流还该是稳定的,它可以经历黑子生存期的几个星期甚至几个月之久。成对黑子的磁极异性似乎容易了解,毫无疑问,头尾两黑子之间有一种物理的联系,可是它们是不是像常见的磁石的两极那样,真的形成一块磁石呢?更奇特的是,从这半球到另一半球,从这个周期到下一个周期,极性发生转变。也许连续两次11年的周期不是独立的,黑子活动的真正周期是22年。

摄谱仪还在黑子里发现一种奇特的运动:由多普勒效应查出的谱线小位移,证明物质有从本影平行于日面逃逸的趋势,这种现象叫做埃弗谢德(Evershed)效应。随着这种水平方向的运动,很可能有一种垂直方向的运动,以补偿在水平运动中所损失的物质,不过因其太缓慢难于觉察罢了。这样的环流特别被伽利略所创建的佛罗伦萨天文台的台长阿贝提(Abetti)加以研究。

我们可以说,在黑子现象里一切都使人难于了解。磁场会怎样出现呢?会怎样维持

住比周围的光球要冷 1 500℃的区域呢？黑子活动有 11 年的周期，有如春季的癣疥的发生一样，究竟为什么有这样一个奇怪的规律，而且连续两次的爆发又似乎有联系呢？直到现在，对于这些问题还没有任何满意的解释。最完备的解释当推瑞典物理学家阿耳文(Alfvén)的理论。自然这个理论还不成熟，可是，把磁场提到一切现象的首要地位，已经打开了了解黑子的道路。黑子里物质的冷却和环流很可能都是磁场的副产品。阿耳文一再述说电磁现象在太阳物理上的重要性，他的工作为天文学也为电动力学开辟了新的境界。

太阳表面上，除了黑子以外，还有一个微弱的变化着的磁场。早在 20 世纪初，海尔即宣告，像在地面上一样，日面上有一普遍的磁场。可是现今的工作并没有证实这种磁场的存在。对太阳磁性的研究，观测和理论两方面都才开始，同时需要有优越的技术和深入的理论探讨。

我们研究黑子的物理，虽然观测数据已积累了不少，但对所提出的问题还茫然无知、无法了解。以后几章里所谈的问题也有同样的情况。前几章在谈到太阳科学的成就的时候所给予读者的良好印象，将会完全幻灭。我们不能不承认我们的无知了。



图 279　1952 年到苏丹喀土穆的法国日食观测队，图中为口径 6 米的射电望远镜

# 第二十一章

# 日　　食

## 日食和人类

月亮每月绕着地球的运行，有时会掩盖了太阳的全部或一部分。地球上的观测者应该庆幸能够看见这种现象，因为月亮的轨道平面和黄道是斜交的，日食是一种相当稀罕的现象。关于在地面上一定地点观察日食的情况，我们已经叙述过了(第十四章)。月亮通常只遮住日轮或多或少的一角，仅造成日偏食的现象。天文学家对这样的日食不太感兴趣，一般人如果不于事前预备，临时用一片黑玻璃遮着眼睛去看，往往就会错过机会。在

日偏食的时候，日光可能有一些减少，但是减少与复原往往只经过 1 小时左右的时间，基本上不会被人发觉。可是，在日全食的情形下，一切都不同了，自然给我们表现出一种最伟大、最稀罕的景象。我们应当庆幸有这样难得的机会，因为如果月亮的直径短了 200 千米，我们便不会发现有日全食的现象。月亮遮住日光所成的黑影锥，在地面上形成一个椭圆，这椭圆式的黑影，以每小时 1 700 多千米的高速度在海洋和大陆上扫过几千千米的行程。因为这黑影的范围不大（最大的直径不过 268 千米），而且走得很快，日全食在地上某一点经历的时间十分短暂，在最合适的条件下，也只有 7.5 分钟。不管全食的时间是怎样短暂，但它先要经过一两小时的偏食阶段。当全食快来到的时候，光线迅速减少，才引起人们的注意。太阳忽然完全隐没从而造成一种现象，愚昧的人看上去将会感到恐怖，有知识的人看去是感动难忘的。在最早的书籍里就有关于日食的记载。我们能够计算过去一切日食的日期和情况，这对于历史学家是一个有价值的贡献，因为他们可以根据这种计算的结果去考证古代文化的重要日期。天文学的这一种奇怪的用途，我们已经在第十四章里有过叙述。我们现在再谈一谈日全食和人们的关系，特别是和天文学家的关系。

19 世纪中叶以前，在日全食的时候学者们对于月亮黑轮周围的奇特景象很少注意。大约是从 1842 年那一次经过法国南部和意大利北部的日全食起，人们才开始以今天所有的热情去注视日全食时所出现的太阳外层大气。

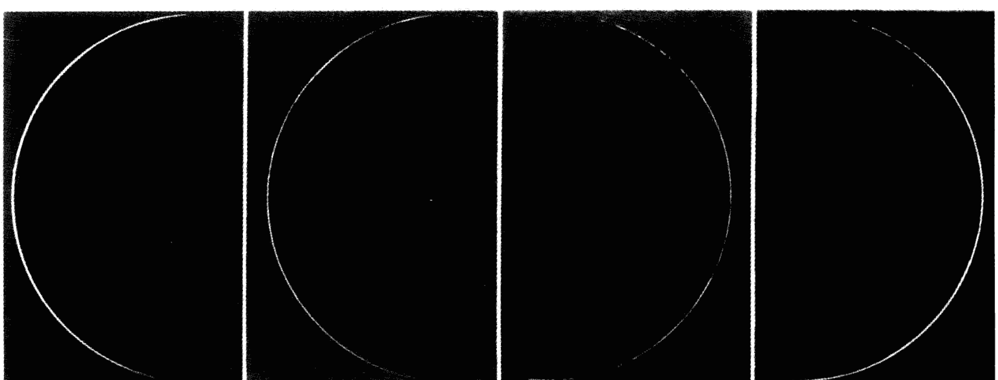


**图 280 1912 年 4 月 17 日日偏食的几个阶段**

由左至右：12 时 9 分 3 秒，12 时 9 分 50 秒，12 时 10 分 10 秒，12 时 10 分 31 秒。注意月面的山将娥眉光切断的情形，这种现象叫做倍里珠。

我们先叙述一下一般人对于日全食的印象。当天文学家所预言的日食到来的时候，在耀眼的日轮的西边出现了一个黑色的缺口，这个缺口缓缓地、不可避免地扩大起来，差不多需要 1 小时的时间，整个日面才能完全被掩盖。当明亮的娥眉形的部分不断地缩小的时候，日光也逐渐减少，最后呈现灰白的月色，四周的景色带着惨淡的情调。这时候，观

众常兴奋地讲起话来，每个人都想压住他不安的心情，因此愈来愈喧嚷。许多没有开化的民族把日食当做天龙吞食了太阳。为了赎救他们所需要的太阳，他们总是大声呼叫，敲锣打鼓，企图吓走天龙。印度人常把身体浸在恒河或别的圣水里，以求赦宥。动物却比较安静了，鸟儿停止了歌唱，鸡也回到了窝里……最后一弯太阳继续逐渐变小。因月面上的山峦起伏，在即将淹没的日轮上形成一串光明的颗粒。……忽然间，黑夜降临了，可是这是一个假的、不完全的黑夜，因为天空中不见全食之处，大气还带着红色的霞光。太阳附近的行星和几颗明亮的恒星也出现在天空。在月轮周围有一些不规则的光辉，这便是日冕，它的白色的光辉愈向外愈微弱，以至混淆在蓝天的背景上。这是一个令人难忘的景象，地球上很多人一生里都未曾见过这种景象。1860 年日全食时，米兰市的居民高呼“天文学家万岁”，他们以为天上的这幕出奇表演，是天文学家所编导的呢！日全食的时间，一般只有两三分钟便过去了。日冕发出它澄静的光芒，好像要永恒地照着我们一样。可是一下出现了耀眼的光辉，一丝日光出现在月谷的凹处。日全食完了……日光迅速地恢复，观众们有两种感觉，一方面本能上有轻松之感，另一方面对于这种奇特不能再见的景象转眼即逝，又有惆怅难忘之感。

天文工作者的印象与此自然稍有不同。他们常从远道而来，目的是对现象作精密的观测。为了筹备观测工作，他们常在几月乃至几年以前，便开始辛勤劳动、深思熟虑起来。他们常组织远征队，携带笨重仪器，旅行了数千千米的路程，因为日食常可能发生在辽远、荒野的地方。有时全食带只从海洋里掠过，而不在陆地上出现。19 世纪末有一次又美好又长久的日食，法国天文家蒲吕维内耳(A. de la Baume Pluvinel)想去观测，地图上在全食带中的只有两个荒岛，一个名叫瓦克岛，他详细调查以后，才明白这个岛仅存在于自称发现者的想象里。全食带在太平洋里仅接触一个礁石，在退潮的时候方才暴露在水面之上，人们很难在那上面建筑起临时的观测站来。

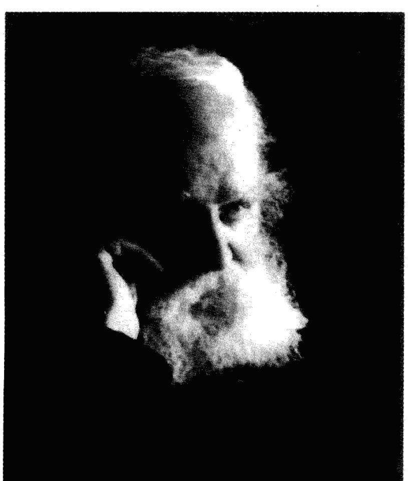


图 281　让桑，默东和勃朗峰天文台的创办人，他于 1968 年日食和洛基尔同时在日珥里发现了氦元素

观测计划被决定以后，天文工作者首先须向政府和议会请求发给派遣远征队所需的费用。掌权人士对于这类的申请总不太热心。蒲吕维内耳曾经作了这样的解释，他说：“我们的政府对于我们所关心的星球丝毫不感兴趣，那是不足怪的，因为庞

加莱业已说过，这些远方世界不参加我们的政治斗争，即使那里有居民，也不会是选民来投赞成政客们的票的。”

费用申请到以后，天文工作者还要装置各种各样的仪器（而且常是新颖的），并加以校准。经过长期这样细致的准备以后，天文学家还要争取时间早日达到观测地点，安装仪器并再度校核，还需修建安置仪器的稳定基座。另外，避雨、防冻、防尘（在沙漠地区灰尘特别有害）的房屋和帐幕也需修建。自然，还应该有一个冲洗相片的实验室。这些预备工作时常是在艰难的条件下进行的。例如兰利（Langley）和他的同伴把帐幕安置在落基山4 300米的高峰上，遭受雾、雪、寒、冻、坏天气和高山病等等的袭击。这样艰苦地经过一个星期之后，他们得到了报酬：他们在高山特别清爽的天空上看见了一次美丽的日食和壮观的日冕。

日食的时候，天文学家遭遇的不幸事情更是多得不能数计，前面我们已经讲过了一些。在那一去不可复得的几分钟里，仪器比平常特别容易失灵，这是因为观测者的精神极度紧张。在颤动的手指下，照片匣子总是打不开、关不上，一切机构都好像停顿了！为了减少这种心理的因素，在事前需做无数次的练习，以便在日全食的时候一切动作均像机械一样，不假思索便能完成。天文学家们在全食的短短几分钟里忙于操作，对于这伟大的奇景时常是无暇去看一眼的。日食以后神经可以松弛一下，但他们还需当心好好冲洗宝贵的底片。当地的助理观测人员，有时也会弄出啼笑皆非的故事。蒲吕维内耳曾经向我们讲了这样一个故事：他把开关一架照相机的任务交给一位喜欢舒适的本地人。这人不耐烦在烈日下等候日食的到来，他跑到夜宿的帐幕里去睡觉。一声号响，他一下跳了起来，开始他练过多次的动作……可是忘记打开了帐幕，自然阳光不能透过帐幕，日冕也不会照上去！

观测的帐篷自然需加圈栏，并派人维持秩序，可是好奇的人总以为在天文学家工作的地方日食特别好看。云雾对于天文工作者总是最难避免的仇敌，特别在日全食的几分钟里，很少的积云盖住了太阳，便会将几个月的努力付诸东流。据估计，对日全食的观测有

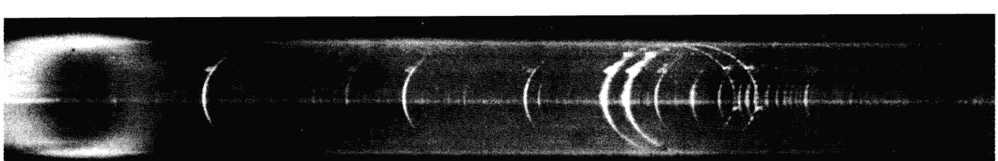


图 282　**闪光谱**（1900 年 5 月 28 日拍照）

色球的光谱里有多少明线就形成多少个像。对于其中最高的 H 和 K 两条谱线，色球出现在月亮的两边沿，形成一个圆周（被仪器稍微变形）。注意日珥的单色像和色球的单色像一道出现。

70%归于失败，或者由于云雾或者由于各样事故。观测者对于失败应当先做好心理上的准备，正如一切从事体力竞赛的人和远征探险者所需要的准备一样。我们可以说，对日全食的观测是天文学中最富竞赛意义的一项工作。

## ◂ 日全食的科学意义 ▸

日全食可以涉及许多有关天文和地球物理的问题。我们只谈谈几个重要的方面。

在食既或者生光的时候，即月球刚把炫目的光球圆轮盖住的时候，我们便看见在这个圆轮上，像衣服般镶上了一条锯齿形玫瑰色的花边。在19世纪之初，爱里(Airy)把它叫做“山脉”，今天我们给它命名为色球。色球的厚度有几千千米。它是许许多多明亮交叉的小型喷焰所组成的，好像草原上的苗芽一样。因为太阳大气的这一层不厚，所以在几秒钟以后便被月亮所遮蔽了。因此，我们必须等到19世纪末照相术发达之后，才能对色球做有收获的观测。所谓闪光谱，就是色球的光谱，要研究这个转瞬即逝的现象，有它特殊的困难。虽然今天我们已经能够利用摄谱仪在不是日全食的时候也可以观测色球，可是在现今的日食观测中，闪光谱的拍照仍然是一个重要的项目。从色球上喷射出来的巨大的各种各样的红色“火焰”，叫做日珥。我们在日全食的时候用肉眼常常可以看见它。日珥可达几万乃至几十万千米的高度和长度。日珥的光谱于1868年8月18日第一次被让桑所拍到；这条光谱是明线的，如像低压下的气体所发的明线一样。其中最显著的是氢的谱线，还有一条强的黄线不属于当时已知的任何元素，于是将这未知的元素命名为氦。这种气体先在太阳里发现，过了许久才在地球上找到。氢的谱线 $H_\alpha$ 和 $H_\beta$ 在让桑眼里非常明亮，他便问道：不在日食的时候，只用这些谱线去观测日珥，是不是可以胜过背景上的天光？因此，第二天他把他的摄谱仪的光缝对准日食时太阳边沿上有一个大“火焰”的地方，他看见明亮的 $H_\alpha$ 谱线重合在天空漫射光的光谱上面。同时，洛基尔(Lockyer)在英国也同样发现了日珥。由此可见，用摄谱仪可以在非全食的时候探查日珥，这便开始了以后不断的研究。意大利天文学家，如塞奇(Secchi)，在这方面颇有贡献。虽然对日珥的经常观测自1868年即已开始，但是仍然只有在日全食时才能做精细的观测，例如对日珥光谱的光度研究，因为在平时总不免要受天空光亮的干扰。

最后，在全食时日轮上面那些耀眼的圆光(日冕)，也是日全食观测中的主要对象之一，虽然李奥使用了他所发明的日冕仪(见第二十三章)，现今已能在非全食的时候看见这种现象。照相术、分光学、偏振测量学、电子光度学等一切近代科学技术，都可用于日冕的

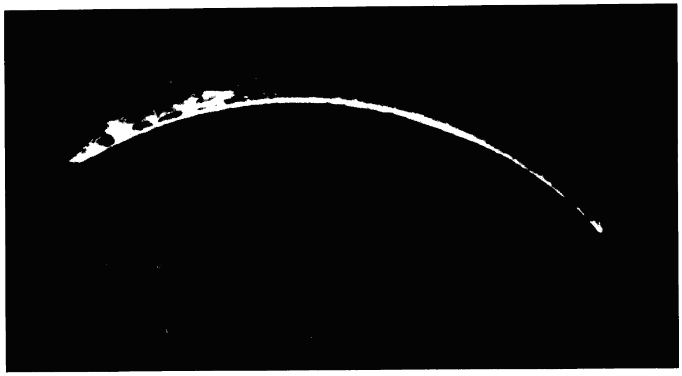


图 283 色球和一个美丽的日珥（1905 年日食）

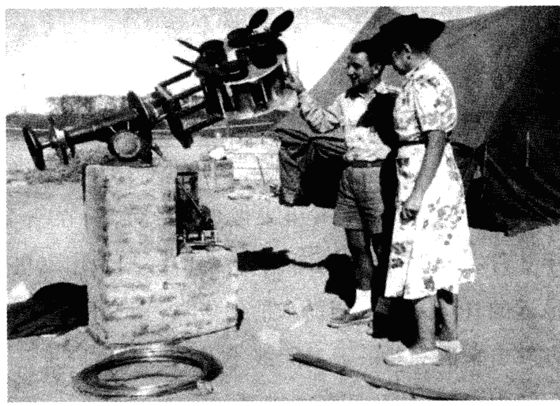


图 284 1952 年到喀土穆的法国日食观测队，图中为拍摄的日冕的一组照相镜

研究，因为我们愈明了日冕的奥秘，它便愈能对我们提出更多的问题。日冕是太阳大气的最外层，也是分布在太阳系里云状物质的中心，当无月之夜时，在远离城市灯光的乡野里，我们遥遥望见的微弱的黄道光，便是这些云状物质的一种表现。

在太阳上，日冕和色球之间并无明晰的分界之处；在太阳的外边，我们也不知道哪里是日冕终了的地方，事实上，在每次日食里所看见的日冕变化很大。日冕的亮度在明亮的色球与夜天光相近的黄道光之间作连续的、迅速的变化。因此，对日冕的研究，无论在日食或非日食的时候，都受了下述原因的限制，如因空气分子、大气里和仪器上的尘埃而来的散射光线。图 285 表示出这些困难。避免的方法

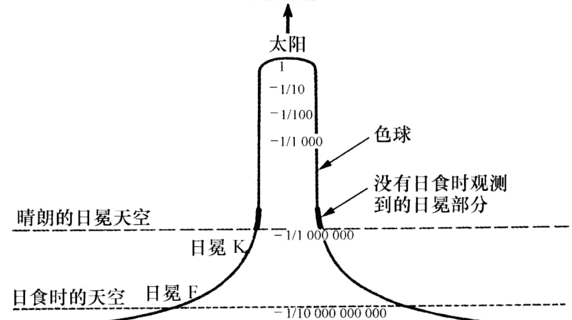



图 285 太阳各部分的相对亮度

（以太阳本身的亮度为单位）各层日冕以及各种情况下的天空高度。注意：离开太阳以后，日冕的亮度是怎样的暗淡，而且变弱是怎样的迅速；因此日冕的光常被天空的光所掩蔽，甚至在日全食的时候也是如此，由此可知日冕观测的困难。

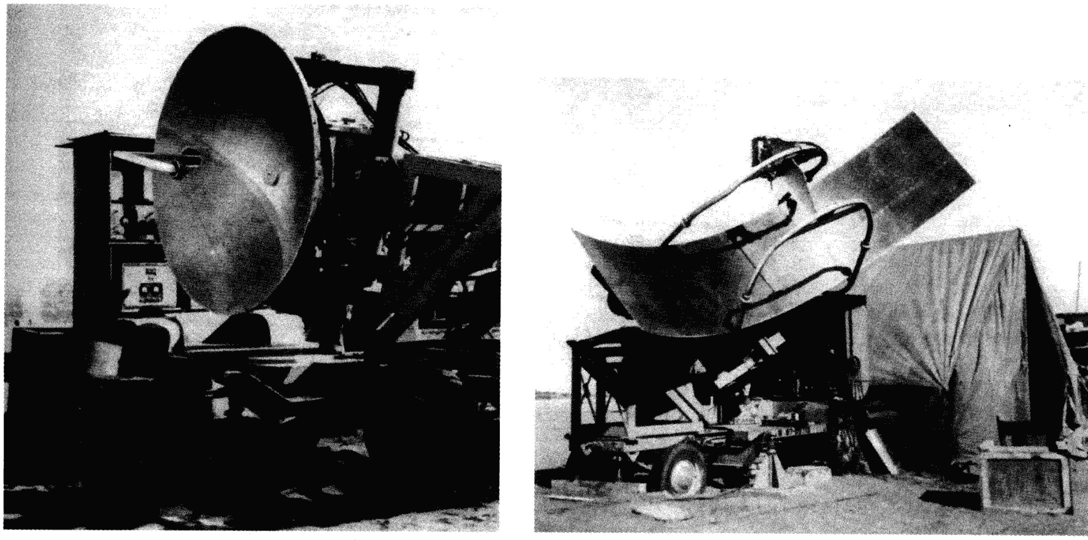


图 286　美国海军部日食观测队的射电望远镜，用以研究 1952 年 2 月 25 日日食时太阳发出的极短的射电波

便是在高山干净的空气里去做观测。可是，在全食带上不常有容易上去的高山。1952 年 2 月 25 日日全食的时候，曾经有一架军用飞机飞到 1 万米的高空去观测可能达到的最远的日冕。由太阳而来的射电波，就是从日冕发出来的。但是究竟从日冕的什么地方发出来的呢？一般的天线不能够区分由附近几个方向而来的电波。天线的指向性和分辨力太差，从几度范围内来的波都混淆在一起。在日全食时候的观测便是一个补救的办法，可以用来研究射电波在空间里的分布：月亮依次遮掩了太阳的各个区域，在日食进程中，对由太阳而来的射电能量的记录可以使我们明了太阳各部分发射量的多寡。所以在现代的日食观测队里，不但有摄谱仪、照相镜，也有射电望远镜与最高级的天线和接收设备。

我们还需提到另一种重要的观测，便是爱因斯坦效应的观测，这是日食对于和太阳物理距离很远的天文学的另外一支的贡献。我们知道，光线和一切能量相同，是有重量的，因此一线光掠过质量很大的物体，如像太阳那样的物体时，是会受这种物体的吸引而发生弯曲的。因此，一组星的照相位置，在太阳附近的时候比不在太阳附近的时候更要移动一些。按照相对论的推算，在太阳边沿处的一线光的偏向值是 1″.75。

在日全食的时候，在天空变成夜晚的情况下，拍摄被食的太阳附近的星显然是很可能的。我们使用现今的天文技术来测量星象 1″至 2″的位移，这也是容易办到的。这里所遇到的困难和别的日食观测项目所遇到的困难是相同的，就是说，我们不能改变环境反复去做多次的观测以消除误差。

1919 年和 1922 年开始的两次日食观测所得的结果和爱因斯坦的预测值非常符合，科学界热烈地庆祝这个成功。因测量上的困难，大家还是承认爱因斯坦的相对论已经由观测得到相当满意的证明。可是，以后的观测和讨论都说明观测和理论有一点差异，这只有留待将来更多的更精密的观测去决定，也许还有另外的现象重合在相对论的效应上，也许需要将理论加以修改才可使它和观测的数值完全符合。

随着天文学的进步，对日食观测的兴趣不是减少而是增加了，我们在上面只能列举几个由观测而得的重要结果。我们还可以说，待解决的重要问题仍然需要人们努力去做日食的观测。在今后的漫长时间里，我们仍然可以看见奔走四方的天文学家建起他们临时的观测站，热切地期待着那奇妙而短暂的日冕的出现。

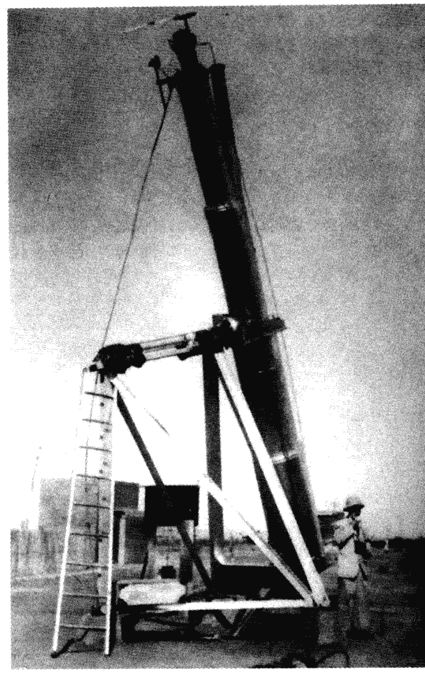


图 287　研究爱因斯坦效应的折射望远镜，1952 年在喀土穆的观测队所装置的

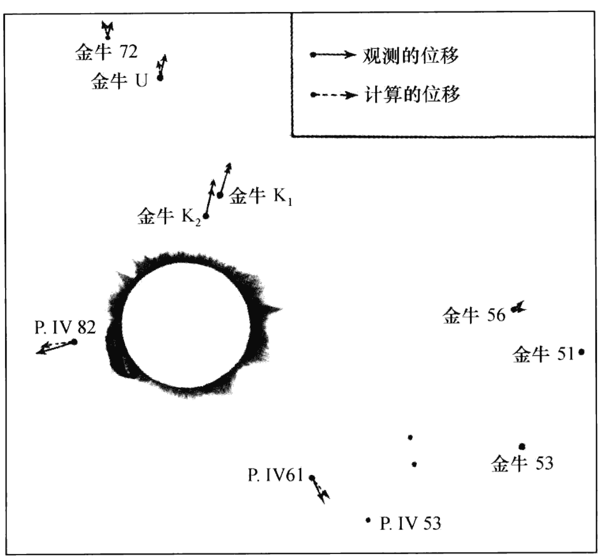



图 288　1919 年日食时对于爱因斯坦效应的检验（结果的示意图）

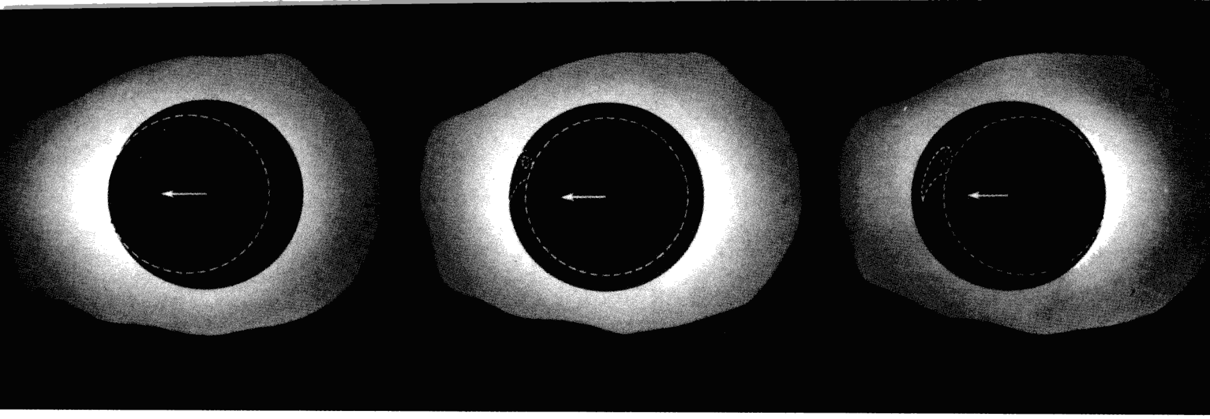


图 289　色球怎样出现于食既和生光的时候(示意图)

# 第二十二章

# 色球与日珥

## 日全食时的观测

我们已经说过,太阳的大气不仅限于我们叫做光球的明亮区域里。在光球上面的气层,因压力很弱,形成氢的负离子。这些气层是透明的,因而是看不见的,只是在日全食即月球将光球遮掩起来的时候,这些气层才会呈现出来。

色球是太阳大气里紧接着炫目的光球的那一部分。在全食的时候,色球表现为月轮上明亮的锯齿形的边沿,有玫瑰般的颜色,所以名叫色球。它的厚度大约有 5 000 千米。因为太薄,所以在全食期间它不能超出月亮的边沿,因此几秒钟以后它也被掩盖了。这样的情况使对色球的研究特别困难。在全食的几分钟内所能看见的日冕,要去观测已经是不容易的了,现在又要观测只有几秒钟时间的色球,真是一种"冒险"。可是,在每次日全食的时候,天文学家都要这样去冒险,从来不愿放过拍摄色球的**闪光谱**的机会。因为光球在我们眼里的宽度不过几弧秒,所以拍摄它的光谱不需使用光缝和准直透镜。光球的弧相当狭窄,在物镜前面放上棱镜或者光栅,其所成的各种单色像不至于彼此侵犯、干扰。物镜和反射光栅可以联合成一个光具组,这便是罗兰(Rowland)的凹面光栅,常用于对闪

光谱的观测。

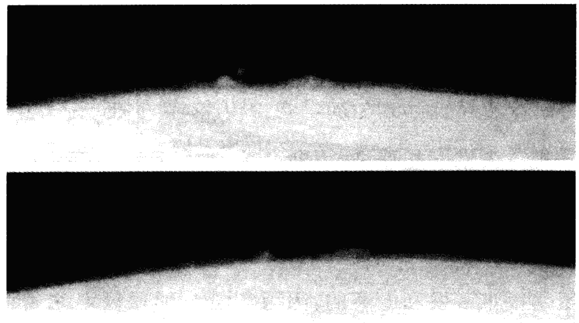


图 290　色球的结构：这两张照片是从李奥所拍的活动影片上所取出来的，这是利用他所发明的单色滤光器将色球光谱里最明亮的 $H_\alpha$ 谱线孤立，于没有日食的时候所拍摄的。注意从色球发展的针状物。两片的时间间隔是半小时

色球的光谱是由许多明线所组成的，它们的波长恰好和夫琅和费谱线的波长相同。事实上，它们和正常的太阳谱线的白、黑两色又是不同的，闪光谱上的正像有一点像夫琅和费光谱上的负像。我们可以把太阳的大气假想为一种夸大的模型来解释这个现象：下面有光球层发射强的连续光谱；上面一层密度比较稀薄，不能发射连续光谱，那里面的气体吸收和发射的辐射符合基尔霍夫定律。在这种稀薄的表面区所生成的谱线，在正常的太阳光谱里像是吸收线，因为这些谱线和光球强的连续发射线相重合了，可是当我们只能看见这一层的时候，换句话说，即从太阳的边沿的一边去看色球的时候，这些谱线就表现为发射线。事实上并不是仅仅在日食的时候才能看见色球的明线光谱，在平常的时候也可以看见，但是这些谱线在天空的明亮背景上(它的光谱和正常的太阳光谱相同)，只有色球光谱里最强的谱线才能在天空的背景上显露出来。

前面把太阳的大气分为两层，只是一个粗略的说法。把它假想为三层更要确切一些：一层发连续光谱，上一层形成吸收谱线(反变层)，再上一层就是色球，产生发射谱线。事实上，这三层是互相混合在一起的，为解说方便计，才强做这样的划分。在整个用光学方法可达到的太阳区域里，温度、压力、流体动力的性质都在连续地变化。太阳大气的光谱有各种各样的区别(光球或色球)，一方面是上述物理性质连续变化的结果；另一方面也是由于观测情况有所不同。随着不同情况，我们所观测到的是高低不同的层次，因而也是性质不同的层次。

观测者特别注意到，在日面上他们所能探寻到的色球谱线的高度是按化学元素来区别的(甚至从这一谱线到另一谱线也有不同)，例如氢气的色球好像比铁气的色球高些。有些天文学家以为太阳大气的成分随高度而有变化，有些原子，如氢原子，比别的原子要高一些。各种元素的这种分层，不能解释为它们的原子重量的不同。为什么相当重的电离钙的谱线 H 和 K 比氢的谱线还要高呢？有一种抵消重力的力量，足以解释这似非而是的现象，这种力量便是光作用于吸光的原子上的辐射压。很能吸光的原子，譬如电离钙的

原子之所以升得高，就是因为它们受了更强的辐射压。英国科学家米尔恩(Milne)所发展的这一理论，今天已被人放弃。大家更相信色球的化学成分是均匀的，关于谱线高度的变化即使不假设各元素是分层的也能得到解释。

主张色球是均匀的一个理由，便是色球受了极强的湍流的影响。我们很容易看出，色球是一大堆互相混淆、不断变化的气焰所组成的，这些叫做针状组织。它们表面的大小和寿命的短暂，使我们回忆起光球上的米粒斑，有些学者还以为这两种结构是有联系的。

闪光谱的一个特点，便是存在着氦的谱线和夫琅和费光谱里所没有的电离氦的谱线。氦是很难激发和电离的，因为它是一种很稳定的元素。氦的谱线(尤其是电离氦的谱线)是很高的温度的表现，有 20 000℃左右。于是我们得到一个离奇的结果：在光球的表皮层，温度约为 4 500℃，而且向高处增高。愈是远离太阳，它的大气不但不变冷，而且愈热了！

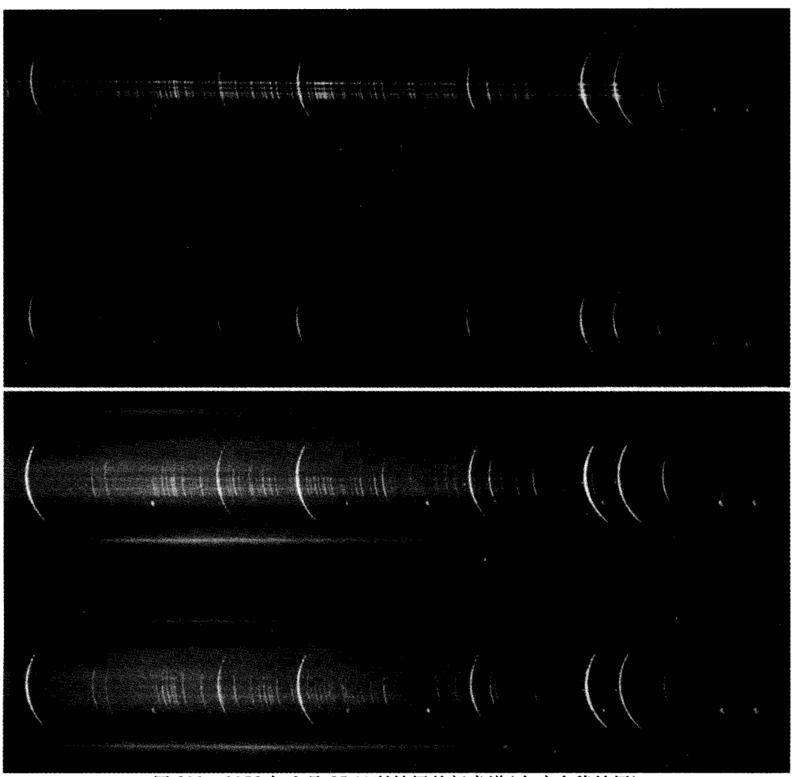


**图 291　1952 年 2 月 25 日所拍摄的闪光谱(在喀土穆拍摄)**

注意：当月亮逐渐将低层色球掩蔽、我们观测到高层的时候，光谱便逐渐简单化。露光时间在食既以后依次是 0.5 秒、2.0 秒、3.6 秒和 5.8 秒。

## ◀ 太阳单色光摄影图 ▶

我们已经说过，摄谱仪可以用来拍摄太阳的像，拍摄时所用的光是经过选择在一定界限内的很狭窄的波段，这样拍得的照片叫做**太阳单色光摄影图**。我们现在看一看太阳物理学从这种技术所得到的知识。

假设把选择光缝放在连续光谱里，这样拍得的照片和用大段光谱区所拍的照片便没有什么区别。可是，假设将光缝放在极强的夫琅和费谱线的中心，对于这样分出的波长，太阳的大气是很不透明的，其所利用的光线是从太阳大气很高层即色球层而来的。

这样拍得的太阳单色光摄影图表现了色球的结构。因为色球是透明的，所以我们使用白光就看不见它，但用很强的黑线的光辉，色球对于它不透明，因而就看得见了。

不在日全食的时候，太阳单色光摄影图给我们表现出来的色球，它不仅是在太阳的边缘，而且是在整个日轮上都可以看见。而且，由于所选择的谱线以及光缝在同一谱线之内的位置不同，摄谱仪所拍摄的就是不同高度的各层。由此可见，这种方法所能达到的范围十分宽广。

通常拍摄的太阳单色光摄影图是用氢的红色谱线 $H_\alpha$ 和电离钙的紫外谱线 K。其他的谱线也曾经被人使用。在很宽的 K 谱线里，我们可以将选择光缝放在谱线中心强度迅速增长的部分，或放在谱线的边缘上（图 293），这样便拍摄到图 292 内的 $K_1$、$K_2$ 和 $K_3$ 三幅太阳单色光

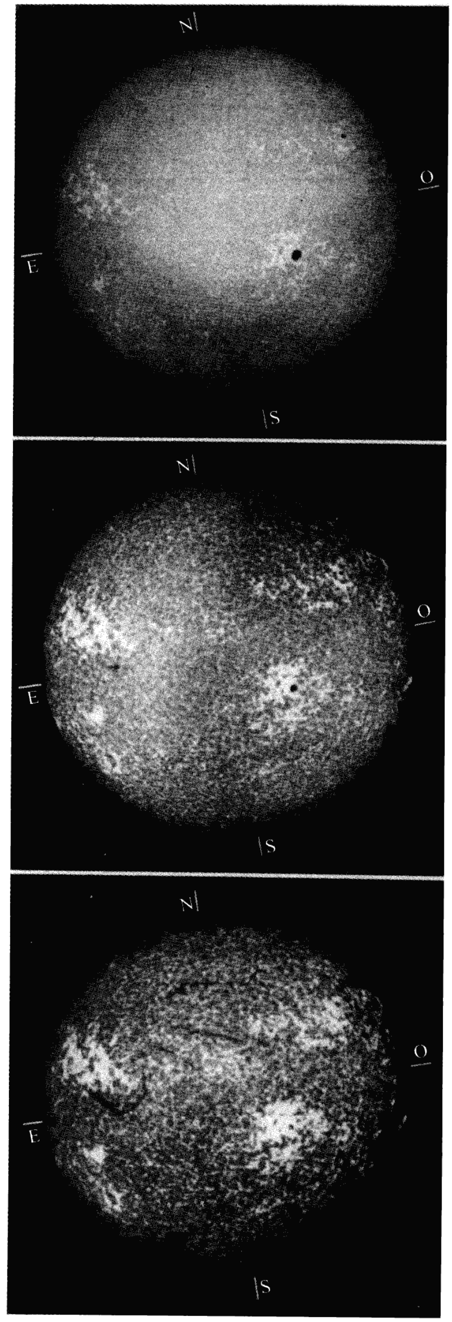



图 292　**太阳单色光摄影图，1927 年 7 月 29 日用电离钙 K 谱线拍照。自上而下：$K_1$ 照片（谱线的翼部），$K_2$ 照片（中部），$K_3$ 照片（谱线中心）**

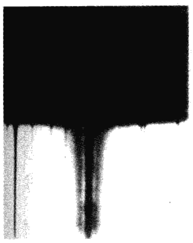
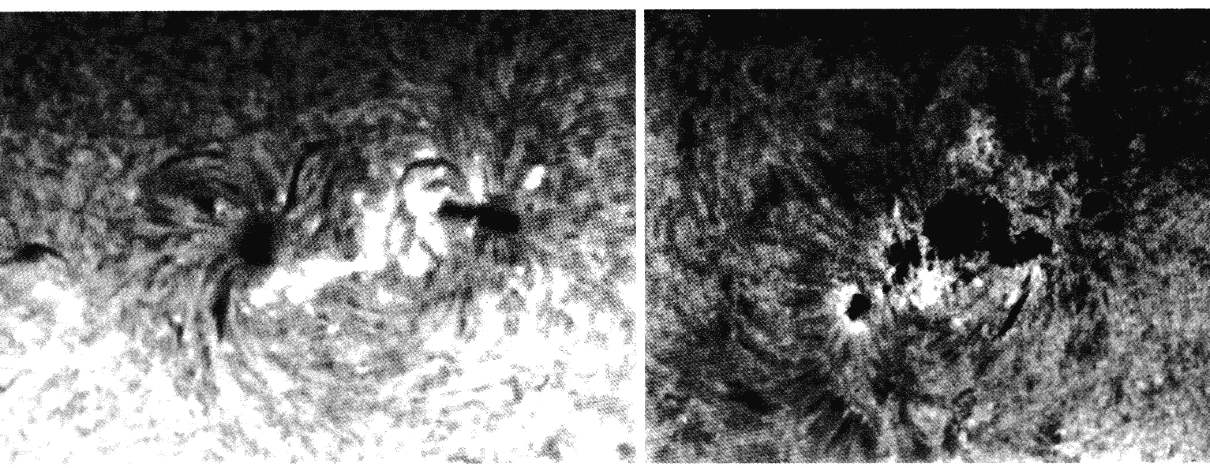


图 293　日珥边沿 K 谱线的结构

的照片。既然太阳大气的透明度在谱线的中心很弱(辐射 $K_3$)，对于 $K_2$ 和 $K_1$ 两辐射的透明度便要顺次增大一些，所以照片 $K_3$ 比照片 $K_2$，更比 $K_1$ 代表更高的气层。我们说过高层明亮的云所表现的光斑，当我们从连续光谱过渡到太阳单色光摄影图 $K_1$、$K_2$、$K_3$ 的时候，我们觉察这些光斑愈来愈大，愈来愈显著，以至最终光斑将黑子完全盖着，在 $K_3$ 图上黑子便看不见了。另一方面，我们说过高出日面几万千米的弧形或喷焰式的气体所表现的日珥，它在 $K_3$ 图上表现为黑的暗条。在天空的背景上，日珥表现为火焰，但是在明亮的色球前，日珥却变成了一层障幕，这是我们多次引用过的基尔霍夫定律的又一例证。除了强烈的片状光斑和黑的暗条以外，在 $K_3$ 图上我们还可以看见色球的灰白两色相间的结构，有一点像橙皮似的。这是由于有叫做一种谱斑的明亮的颗粒存在，它们的大小大约是 10″或 20″，以网状的形式盖住色球，网眼有达 1′的。在特殊的情形下，谱斑可以分解为更小的颗粒。用电离钙的红外谱线(波长分别为 8 498 埃、8 542 埃、8 660 埃)所拍得太阳的像和 $K_3$ 图上的细节大体相似，只是光斑没有那样显著。

用氢的红色谱线 $H_\alpha$ 所拍的太阳像和用电离钙谱线所拍的太阳像，却有很大的差别(图 296)。在 $H_\alpha$ 像上，日珥仍表现为暗条，其片状光斑更明亮而广大，与钙光的图相比，这一切现象的轮廓更显著、结构更突出。它的背景是比钙的谱斑更细微得多的明暗条纹和颗粒结构。在远离活动中心色球的澄静区域里，米粒斑和暗条都是任意分布的，我们只


图 294　黑子群附近的色球结构(日面旋涡)用 $H_\alpha$ 谱线拍摄

左图：1926 年 9 月 20 日用太阳单色光照相镜拍摄；右图：1946 年 8 月 25 日用单色滤光器拍摄。

看见一个颗粒状的表面。反之，在黑子群的附近出现纤维状的结构，其组成部分有一定的方向，好像是被气流或旋涡所推动一样，所以叫做日面旋涡。这样的米粒斑好像绘出磁场的磁力线，有点像磁铁上面盖一张纸，铁屑在纸上所表现的磁力线一样。因为这两种图案很相似，所以这使得海尔在黑子里去寻觅磁场。可是我们不敢确定，也许这只是一种表面上的相似。譬如围绕黑子的色球旋涡的方向和磁场的极性没有关系，这样便说明在形成上旋涡和磁场并无联系，也许以 $H_{\alpha}$ 光拍摄的太阳照片背景上的细微暗条和在色球边缘所看见的红色的针状组织是相同的现象。

用 $H_{\alpha}$ 和 K 谱线所拍摄的太阳相片，外貌上的差异真有一些奇怪。譬如像氢这样难于激发的原子，其发射与吸收非常受温度的微小变化的影响。只要有一个区域比附近的背景稍微热一些，可以发射或者吸收一个 $H_{\alpha}$ 光子的氢原子数目就会大大地增加。可是，对于温度不太灵敏的电离钙，却不是这样的，也许这使得钙的结构成为更模糊的情况。

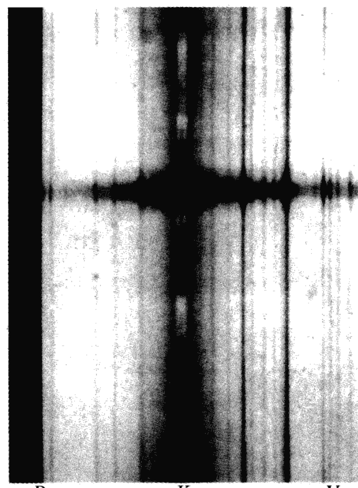



图 295　**黑子和附近光斑的 K 谱线的结构**

黑子表现在光谱里是一暗带。光斑在 K 谱线中心有一发射谱线，相当于 $K_2$ 波长的单色光所拍的太阳的像，光斑以明亮的光片出现。

太阳摄谱仪所表现的一种雄伟的现象便是色球爆发耀斑：一个亮点首先出现在围绕具有活动中心的黑子的光斑区里。这一点扩大，别的点出现，混合成为一团炫目的纤维状的结构。从爆发处时常发展成为一个或者几个日珥，摄谱仪说明这些日珥具有很快的速度，常达每秒几百千米。明亮的光斑区的面积和光亮都增长得很快，以后却缓缓地衰微，以至在几分钟到几小时的时间里便变得和一般光斑无区别了。爆发日珥的异常发射线，只集中表现在几个特殊的波长上，即氢、氦和电离钙的谱线，很少有金属谱线；在个别的情形下，也查出弱的连续光谱以及特殊的以白色光出现的爆发日珥。无疑，它们发出大量的短波紫外辐射和粒子辐射，以及连带而来的强的射电波。在讨论到日冕（那里产生赫兹波）和紫外辐射及粒子辐射对地面影响的两节内，我们还要再谈到爆发日珥。

读者详细研究一下这里复制的照片，将会更能欣赏太阳分光摄影仪。利用李奥的比太阳分光摄影仪更明亮、更好用的单色仪，我们期待着对于色球现象有新的认识。但是，




**图 296　用 $H_\alpha$（上图）和 $K_3$（下图）两谱线所拍摄的太阳单色像的比较（1949 年 3 月 25 日拍摄）**

注意两张照片上的精细结构：在天空背景上，日珥像是明亮的（四边沿），但在日轮上却变成黑暗，还有黑子群周围的明亮光斑（默东天文台照片）。

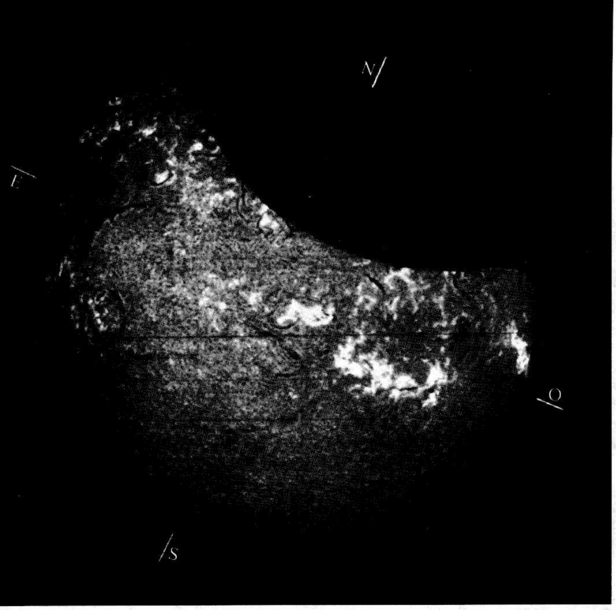



图 297　1949 年 4 月 28 日日偏食，用 $H_\alpha$ 谱线所拍摄的太阳单色像。 正值太阳活动极大期，色球表现出扰动情况，在这张照片上可以看出

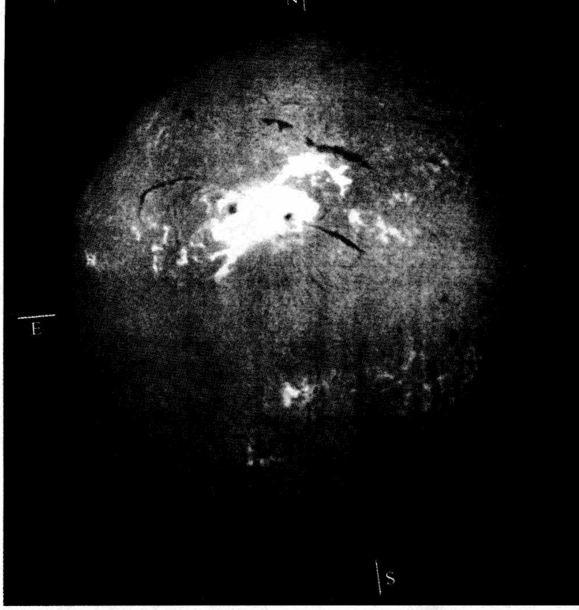



图 298　1946 年 7 月 25 日色球层上的大爆发(图中用 E、S、O、N 代表东、南、西、北)

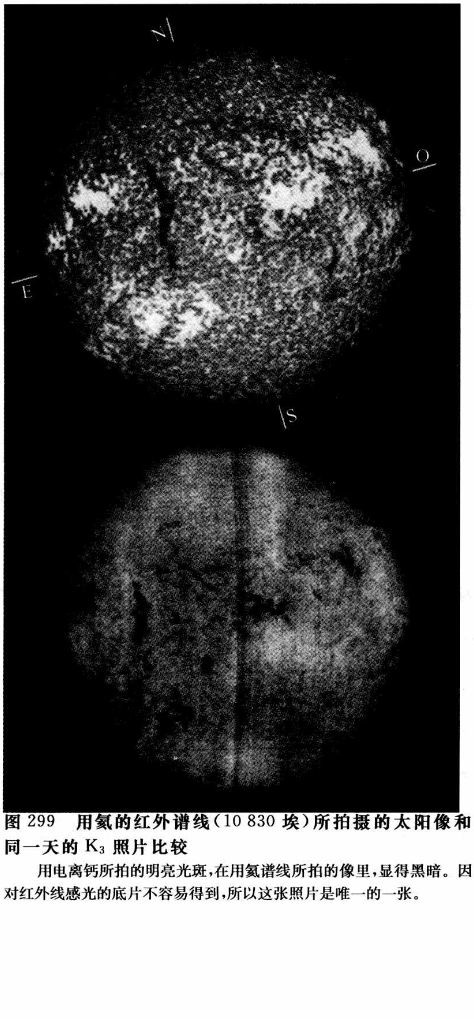



图 299　用氦的红外谱线(10 830 埃)所拍摄的太阳像和同一天的 $K_3$ 照片比较

用电离钙所拍的明亮光斑，在用氦谱线所拍的像里，显得黑暗。因对红外线感光的底片不容易得到，所以这张照片是唯一的一张。

在了解米粒斑、光斑区、明暗条纹等现象的细致工作里，太阳分光摄影仪仍然有它重要的作用。我们将活动摄影机装置在太阳分光摄影仪上，以构成所谓太阳分光活动摄影仪，用它去研究上述各种现象的演变，也是很重要的。活动摄影机自然更容易装置在单色仪上。天文学家现在正在努力筹备一个国际合作组织，使色球现象得到人们连续不断的观测。

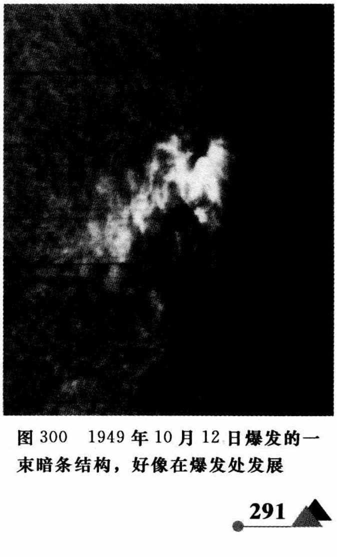


图 300　1949 年 10 月 12 日爆发的一束暗条结构，好像在爆发处发展

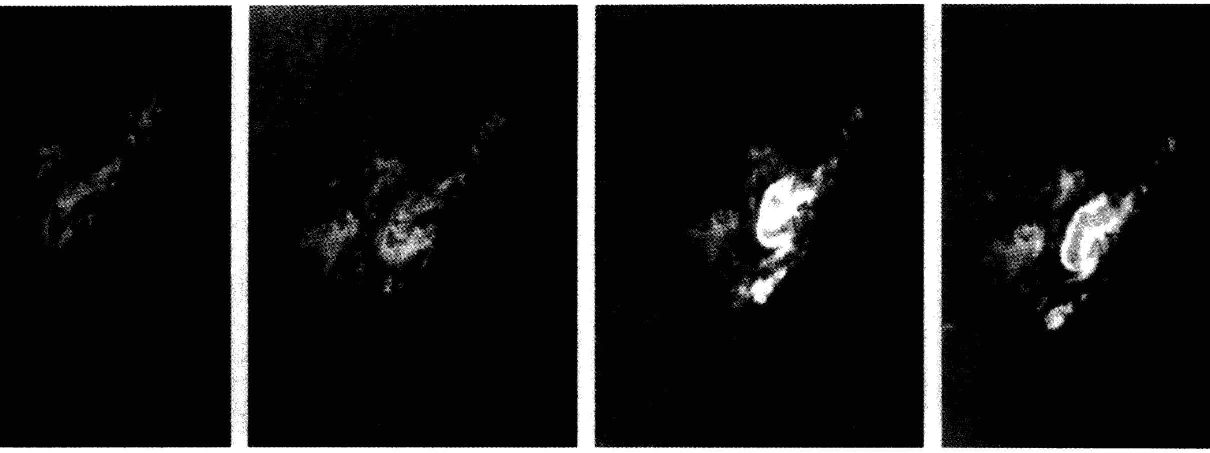


图 301　1949 年 8 月 5 日色球爆发的演变(拍照时间分别为: 6 时 53 分, 7 时 12 分, 8 时 14 分, 8 时 30 分)

## ◀日　　珥▶

我们现在谈谈太阳所表现的最好看的日珥现象。日珥在太阳的高层大气上好像形成一种永恒而巨大的火焰,升腾到几十万千米的高度。我们已经能够用单色仪去观测日珥的壮丽景象,它们出现的地方或在太阳的边缘,或在天空的背景上面,或在日轮上面;在后一种情况中,日珥虽然没有那样美观,但却一样有意义。

在大小、形状和动态上,日珥呈现无限的变化。天文学家研究日珥像人们研究动物和植物一样,首先是把日珥分类。不幸的是,对于日珥的分类,天文学家的意见是不一致的。所以,在日珥的研究上,一开始便发生矛盾和不确定的见解。但是,这些现象里有一些是以它们的稳定著名的,这便是所谓宁静日珥,它们可以生存几月乃至几年之久。它们的性质已经由默东天文台达藏比扎(d'Azambuja)夫妇加以研究,他们在 15 年内每天都拍摄太阳单色光摄影图。宁静日珥的富有特征的结构多数是低矮的环洞式的桥;环洞建在色球上面,桥身是一片气体,异常的长(平均 20 万千米,长的达 100 万千米),很高(平均高度超过 4 万千米),但是厚度不过大约 0.6 万千米。桥形的日珥可以是弯曲的、波状的、矩尺式的,或者 U 字形的,很像是两个邻近的现象所组合成的。成片状的气体不是严格的垂直,而是有一点向西倾斜。在赤道附近,日珥有随日面经度圈分布的趋势,而在边缘上表现它的整个面貌。在它很长的生存期里,它不断向极点移动,同时对经度圈也愈来愈倾斜。这个结果显然是由于日珥参与太阳大气的自转,特别是那种较差自转。日珥在低纬度的部

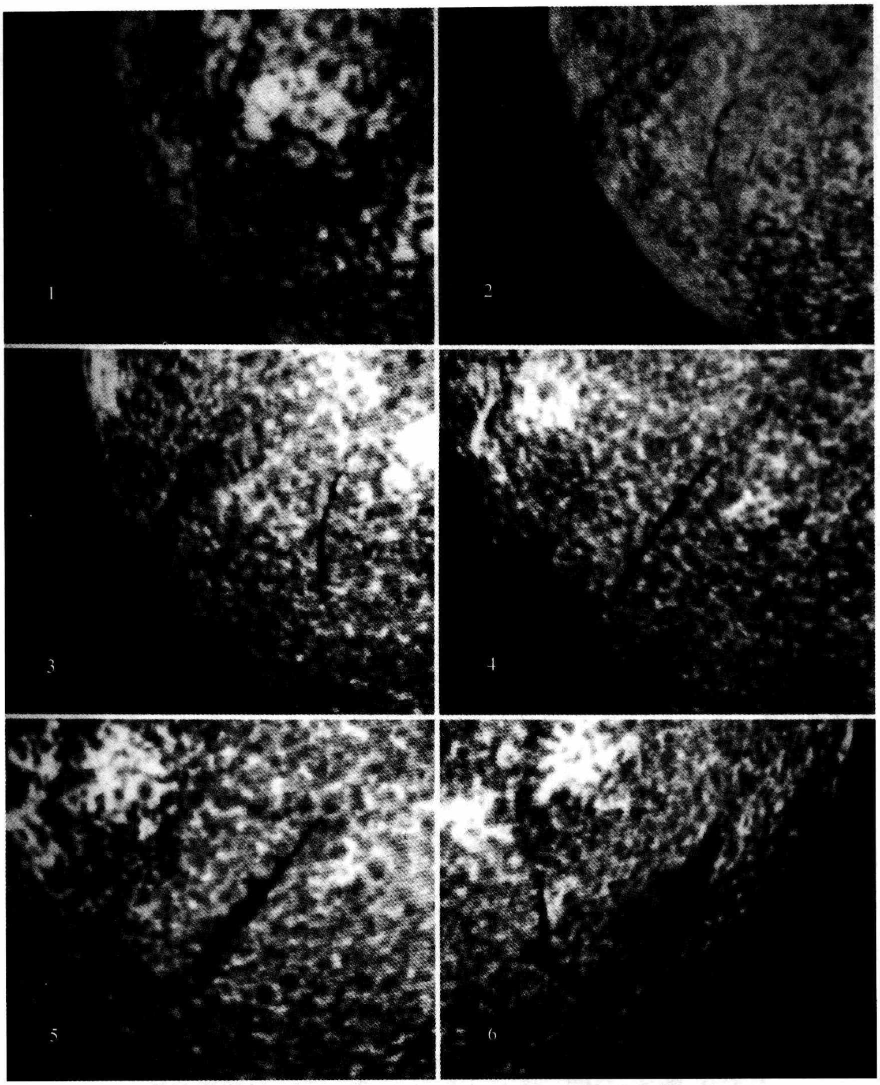



图 302　烟斗状日珥出现于太阳的东边沿(1929 年 8 月 25 日拍摄)，以后几天，因被太阳的自转带动，日珥随日轮前进，投影成黑暗的条纹。 9 月 3 日这条黑纹接近西边沿时，因天阴未能观测到

分转得快一些，跑在别的部分前面，于是逐渐倾斜，终于使暗条平行于赤道。当暗条经过太阳边缘的时候，人们从侧面去看它，这便是极区日珥的正常情况。

统计结果证明，日珥和黑子的活动有一般的相关度。日珥对于日面赤道及“热带”(多黑子区)所发生的黑子现象，这相关度特别大；而黑子的活动对于常在黑子极盛期两年后发生在极区的日珥，这相关度便不甚显著。可是，暗条在极区和赤道区差别甚微。我们时

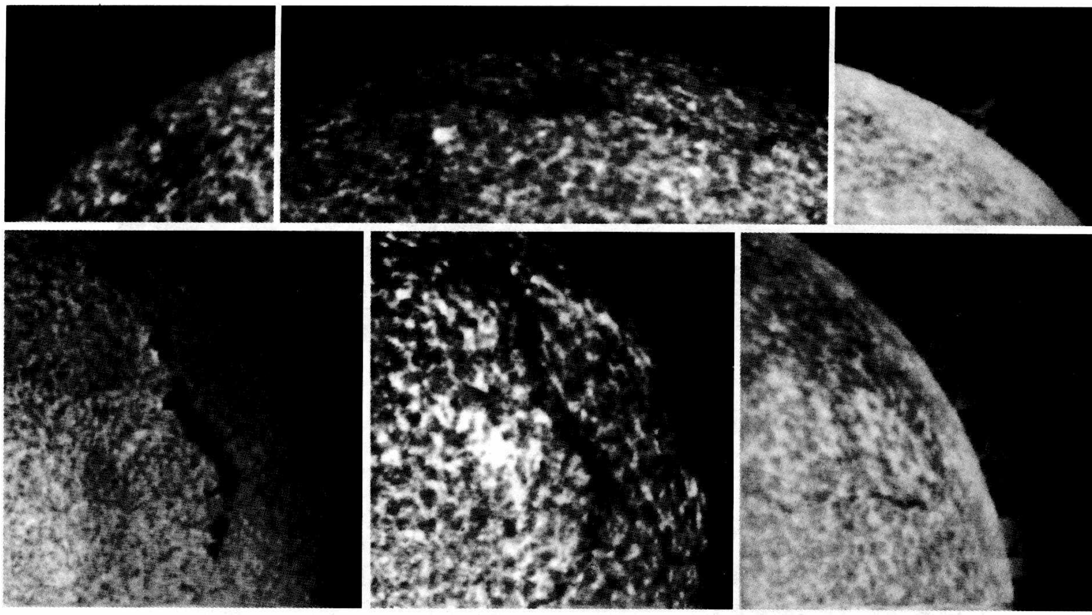


图 303　上图：极处的日珥从截面及从东西两边沿看在日轮上形成一长条暗纹。 下图：太阳单色像中日轮上的暗条（左为 $H_\alpha$ ，中为 $K_3$ 谱线拍摄）到了边沿成为多孔桥形的日珥

常可以看见发生于多黑子区的日珥现象逐渐推移到两极，一年多以后，它和极区的日珥合并。

赤道带的日珥和黑子在相同的区域里形成，和黑子一样，日珥形成的平均区域在太阳活动周期里也是有变化的。我们在第十八章里曾经说过黑子区逐渐向赤道推移，我们把叫做斯波雷尔（Spörer）定律。在许多情形中，我们可以看见许多暗条诞生在一群黑子里并逐渐扩大，在黑子和光斑消逝后还继续存在。极区的日珥常和活动区无关地独立出现，这也许是这种现象消逝了一些时间以后又复活了。而且，日珥，甚至很大的日珥，有时也



图 304　1919 年 5 月 29 日日食时拍摄的大日珥

这个大日珥命名叫“食蚁兽”。我们应该承认这个日珥貌似这个动物，远远超过大熊星座之像大熊。

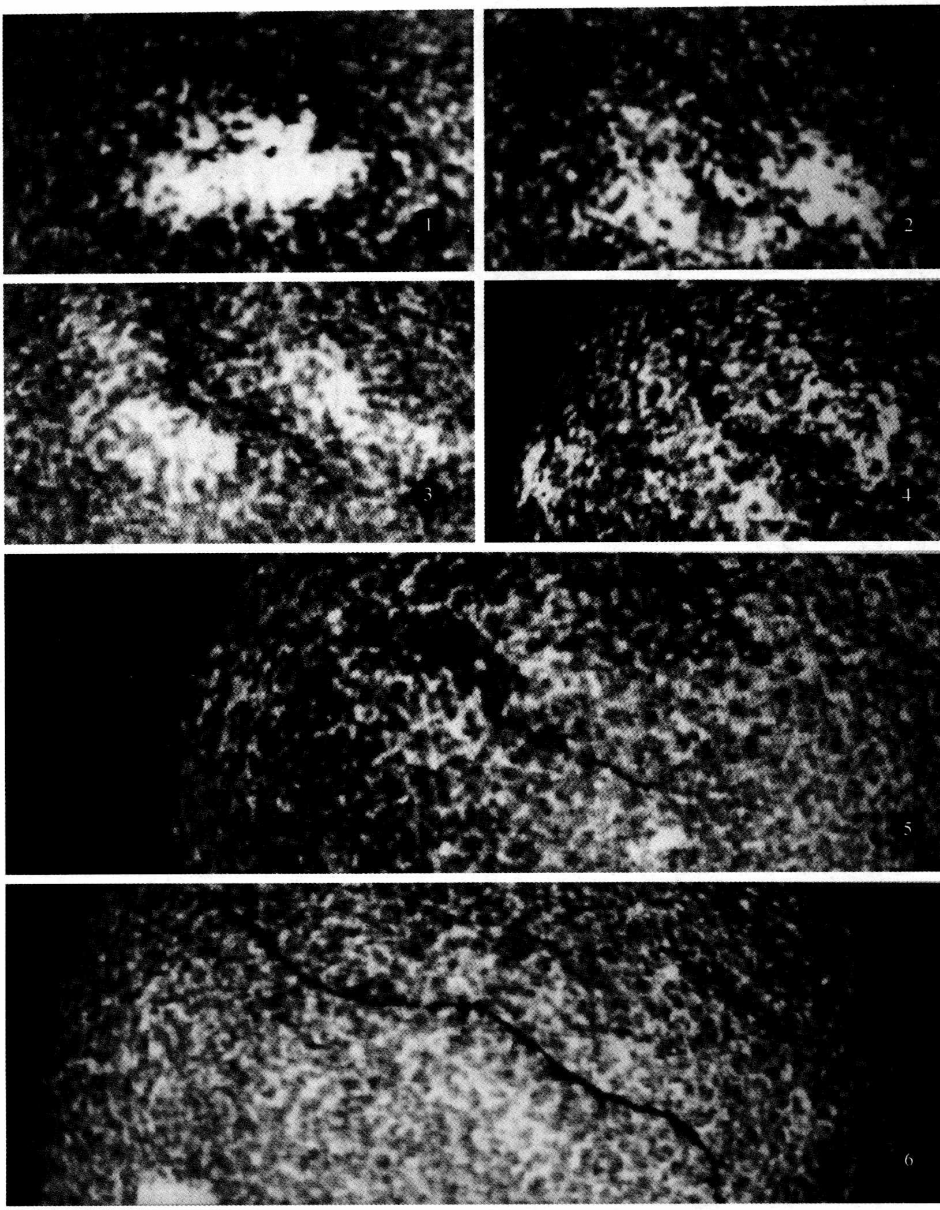


图 305　大日珥的形成：从一个活动中心(一群黑子)开始，终于变成长达 100 万千米的暗条

常骤然地消逝；有时消逝后不久，又在相同的地方，以同样的姿态重新出现。这一切，都好像说明暗条的形成是在一个看不见的却常存在的机构上。

一个大日珥的消逝并不是缓慢的衰微，而是一种灾害式的突变，以每秒几百千米的快

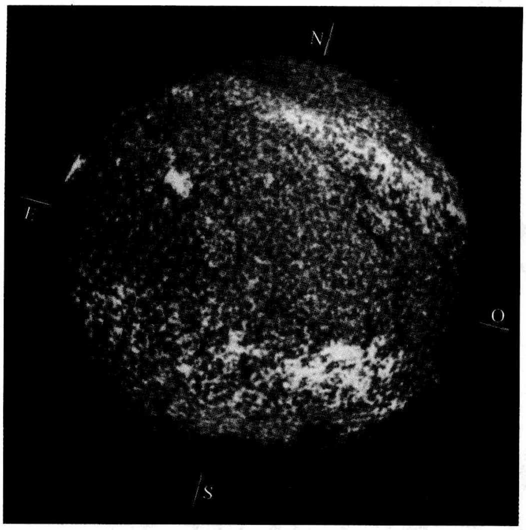



**图 306　大日珥**

1946 年 6 月 4 日单色日面照相。这日珥形似很薄的一片气体，透过它很容易看见它下面的色球结构，左边的薄片向观测者弯曲，我们是向它的边沿看去的。

速度造成气团的飞跃。我们可以想象亲眼看见这种雄伟巨变的天文学家所感受到的刺激。这样的活动表现出来的伟大现象，从科学的观点来看，却是珍贵的记录。因为绝大多数的日珥都不像以上所说过的那种宁静日珥，而是常表现出剧烈地运动和变化，由此可见，用活动电影拍摄日珥有重要的意义。李奥和美国的天文学家曾拍摄了许多极有价值的影片。

一种特别简单的日珥叫做**喷泉式日珥**。这是一种差不多垂直腾起的气柱，有时它们再落到日面，有时一部分脱离太阳引力的羁绊，消逝到空间里去。

另外一种常见的日珥叫做**泉水式日珥**。这是一小包一小包的发光物质从日珥的顶端分离开来，汇聚到日冕里去。这些物质描绘出美丽的曲线轨道，再坠落到色球里去，好像有什么神秘的引力在吸取它们一样。在黑子附近所看见的日珥还有像一束花，或者像美丽的耳环的。

这一切演变迅速的现象都和黑子活动中心有紧密的联系。好像只在黑子附近，才有足够的力量将色球物质向外发射，或者将日冕里的物质凝结和吸引到下面来。最使人惊异的事，便是日珥里的气体好像和太阳

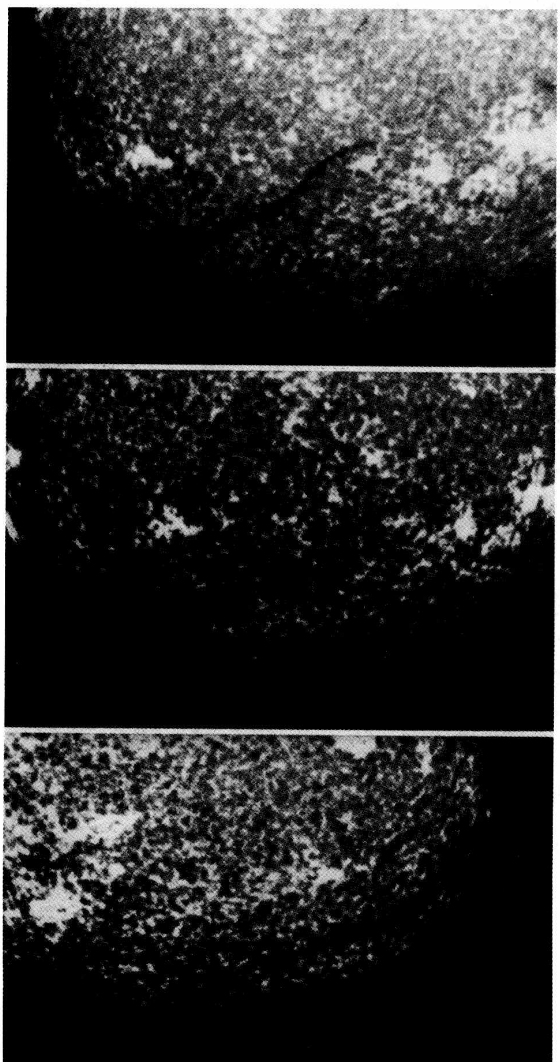


**图 307　长暗条的消逝与再现**

上面照片上的暗条消逝后 4 天，复在原来地方同样出现，但比较模糊一些。

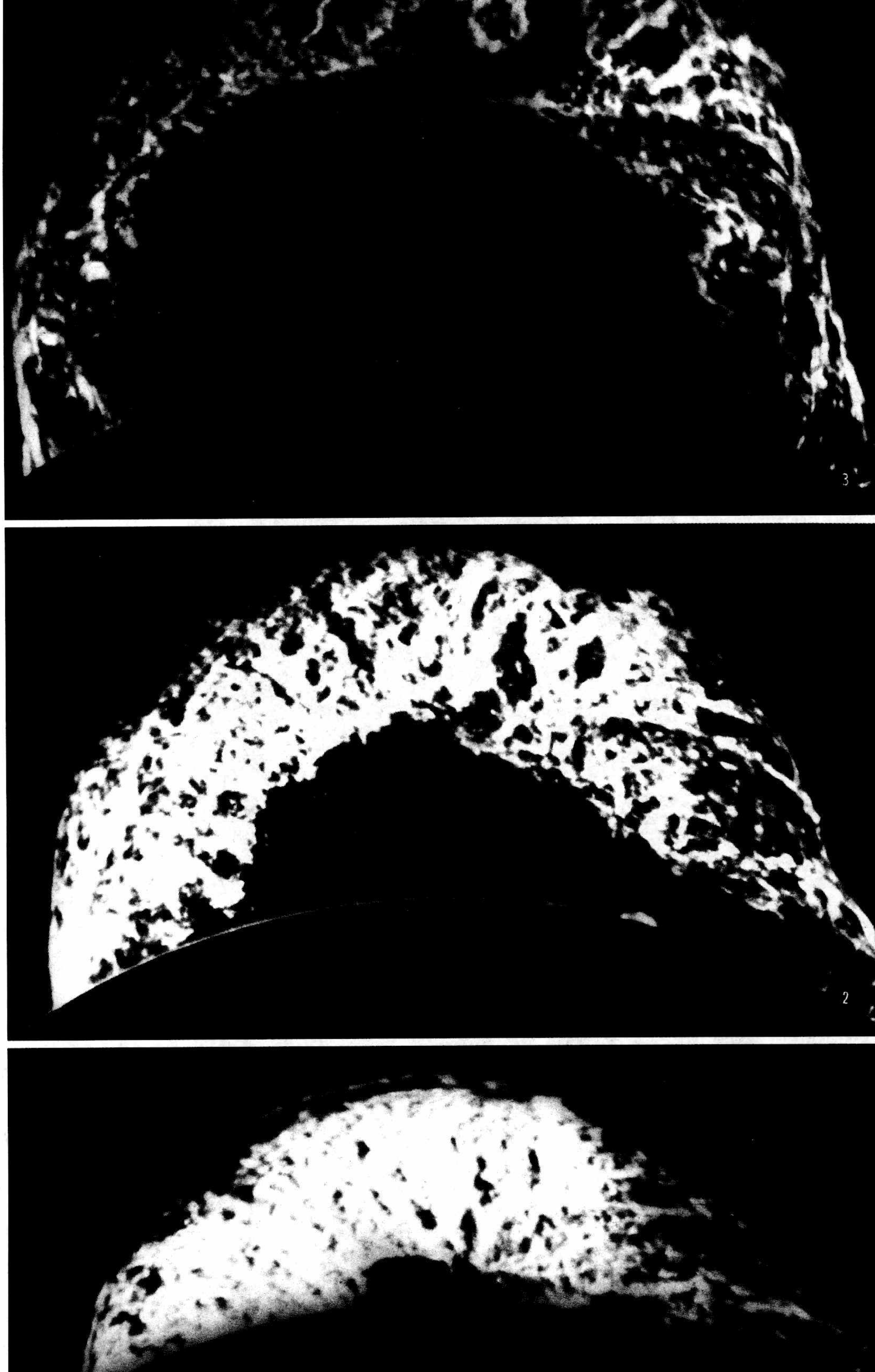


**图 308　1946 年 6 月 4 日图 307 的大日珥出现在日轮的边沿**

由于一种我们还不明白的突然的灾祸式的原因，这一大团气体在 1 小时内逃散在空中。这三张照片表示这惊人的现象，在日面上却是常见现象的三个阶段(科罗拉多高山天文台拍摄)，自上而下：16 时 3 分，16 时 36 分，16 时 51 分(世界时)。

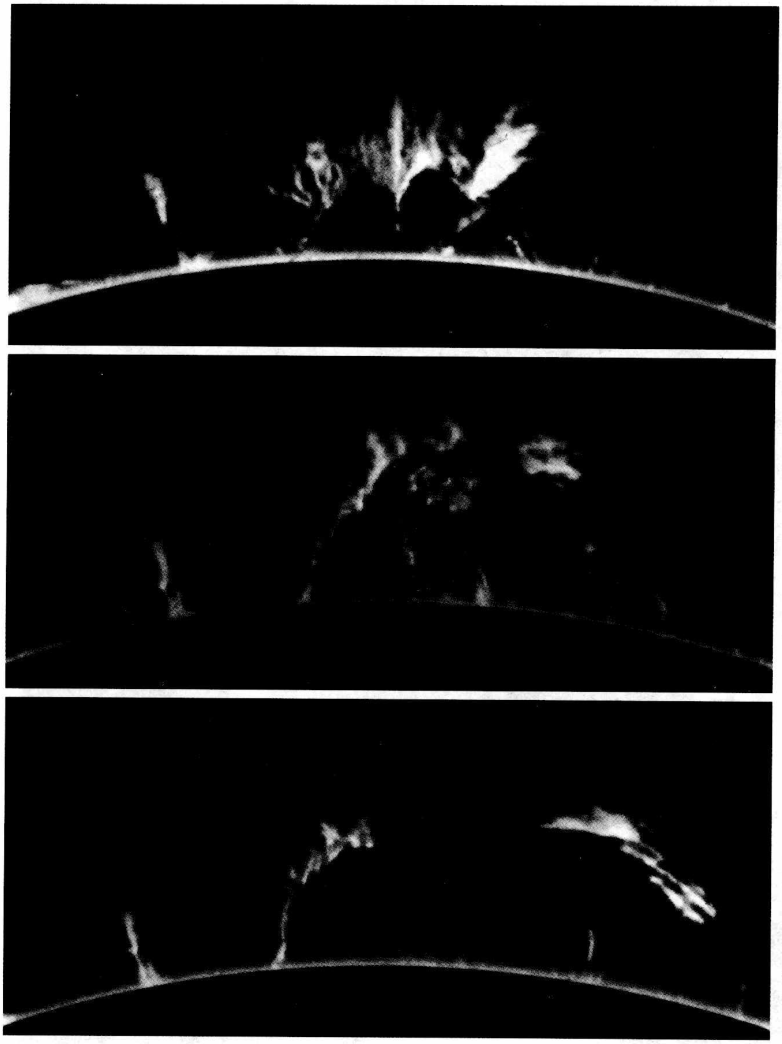


**图 309　一个日珥演变的三个形象**

1937年4月12日李奥所拍的活动影片。发光的物质沿着一定的轨迹，逐渐流到光球上去（8时36分，13时4分，13时28分拍摄）。

表面很强的引力在作竞赛。换句话说，推动日珥的力量是很大的，而且可以指向各个方向；大多数天体物理学家都以为这种力量是电磁性的。这种假说是有相当理由的。首先，如果我们只用引力和辐射压同时去解释所观测到的现象，就会遭到失败；其次，最大最猛的日珥常和黑子群在一起，而黑子群里正是强大磁场的所在地。在像太阳的气体那样很容易导电的环境里，物质除了沿着磁场的磁力线进行以外便不容易移动。就日珥的运动而言，其方位甚至形态，都可说是太阳局部的大气受磁场影响的结果。但是，我们应该承认关于日珥的电磁理论还处在很幼稚的阶段。至于这个现象的本质、个别和整个日珥的动态，以及它们共同具有的性质，我们还很不明白。关于日珥的分光研究才开始不久。

我们只知道日珥比它附近的日冕要更加冷而密。这一切的蒙昧和无知给予将来的天文学工作者以无限的研究机会，他们决不至于因缺乏问题而无事可做。

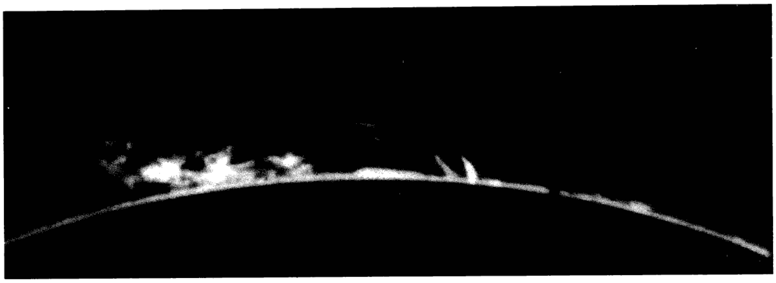


图 310 在这一张李奥所拍摄的(1939 年 8 月 12 日)活动影片上，可以看见日珥上的物质从各方面向光球的一个吸引中心涌去

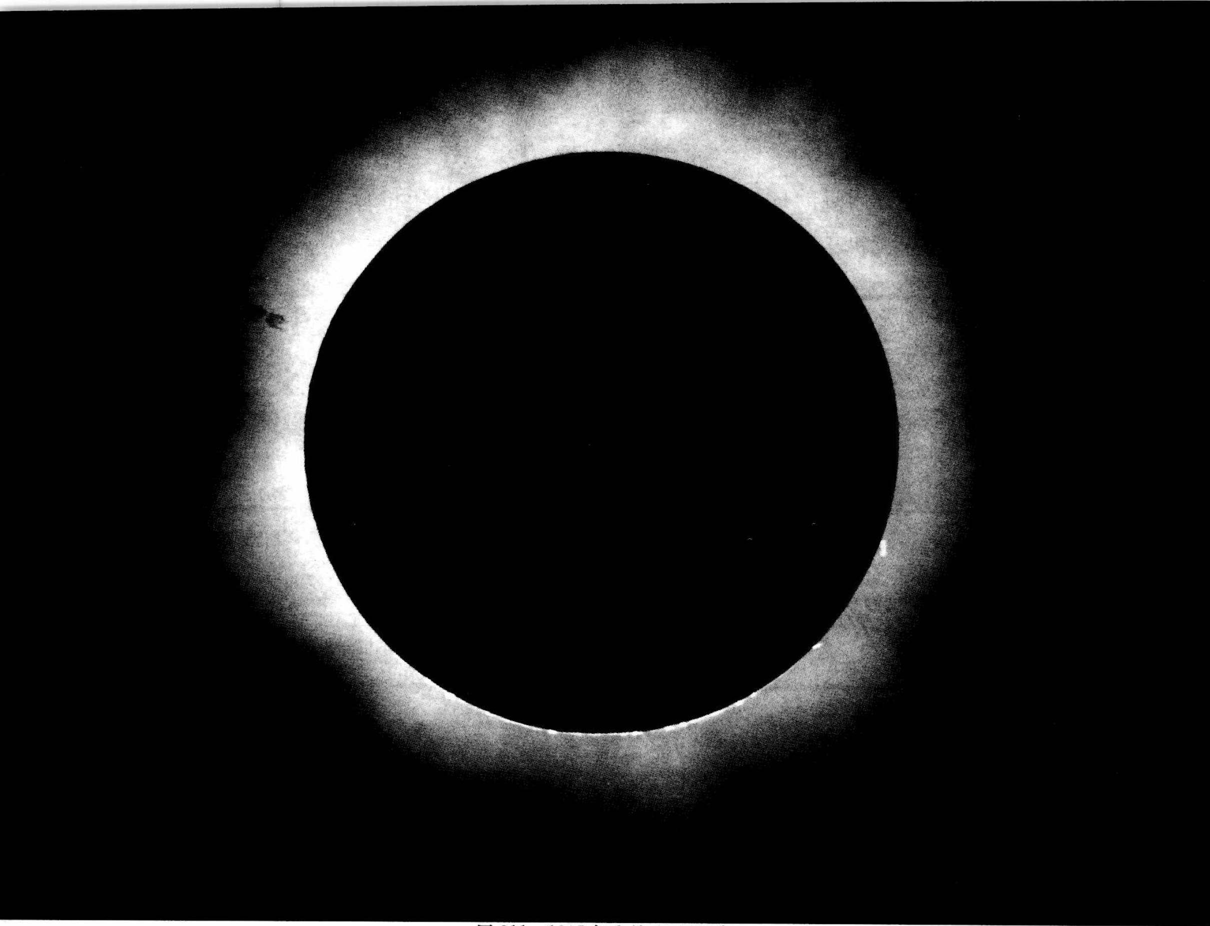


图 311　1905 年 8 月 30 日日食

太阳活动盛期的日冕，大略是圆形，各处都有光芒，成为大丽菊的形状。

# 第二十三章

# 日　　冕

## 日全食时的日冕

在全食的时候，日轮被月亮掩盖，日冕便是它周围明亮的、像神像顶上的圆光。这种既美丽又神秘的现象，引起我们的赞美和兴趣。可惜，它不常向我们露面。日冕比太阳本

身更白，其外面的部分带有天穹的蓝色，这是因为日冕外围的稀薄物质是透明的。日冕的形状是很有变化的，自19世纪末以来，我们便知道日冕的形态随着黑子活动在两个极端的类型里变化。在太阳活动极盛时期，日冕的形状是近于圆形的明亮的有规则的精细结构，但并不显著(图311)。可是在太阳活动的极衰时期里，就其整体来说，日冕没有那样明亮；在日面赤道附近，日冕的光芒底层广大，而上层分成丝缕，很像刀剑状伸向有太阳直径的几倍那样远的地方去〔如果太阳的东西边缘有赤道上的光芒，日冕便像一个明亮的火鸟。古埃及人把太阳绘成有大羽翼的鸟，也许是受这个现象的启发吧〕。朗格勒于1878年在高山透明的天空上观测一次极衰期的日全食，看见这些光芒伸长到离日面1 500万千米以外。1952年在喀土穆(Khartoum)的法国观测队所拍摄的日冕，光芒长达6个太阳的直径，或者说800万千米。除了这种伸长得很远的特征之外，极衰期的日冕在两极附近表现出一种像刷上一簇簇的毛那样的结构，叫做极端羽毛，它们虽短，却很显著(图312)。在一般情形下，日冕是介于以上所描写的两种极端情形之间。

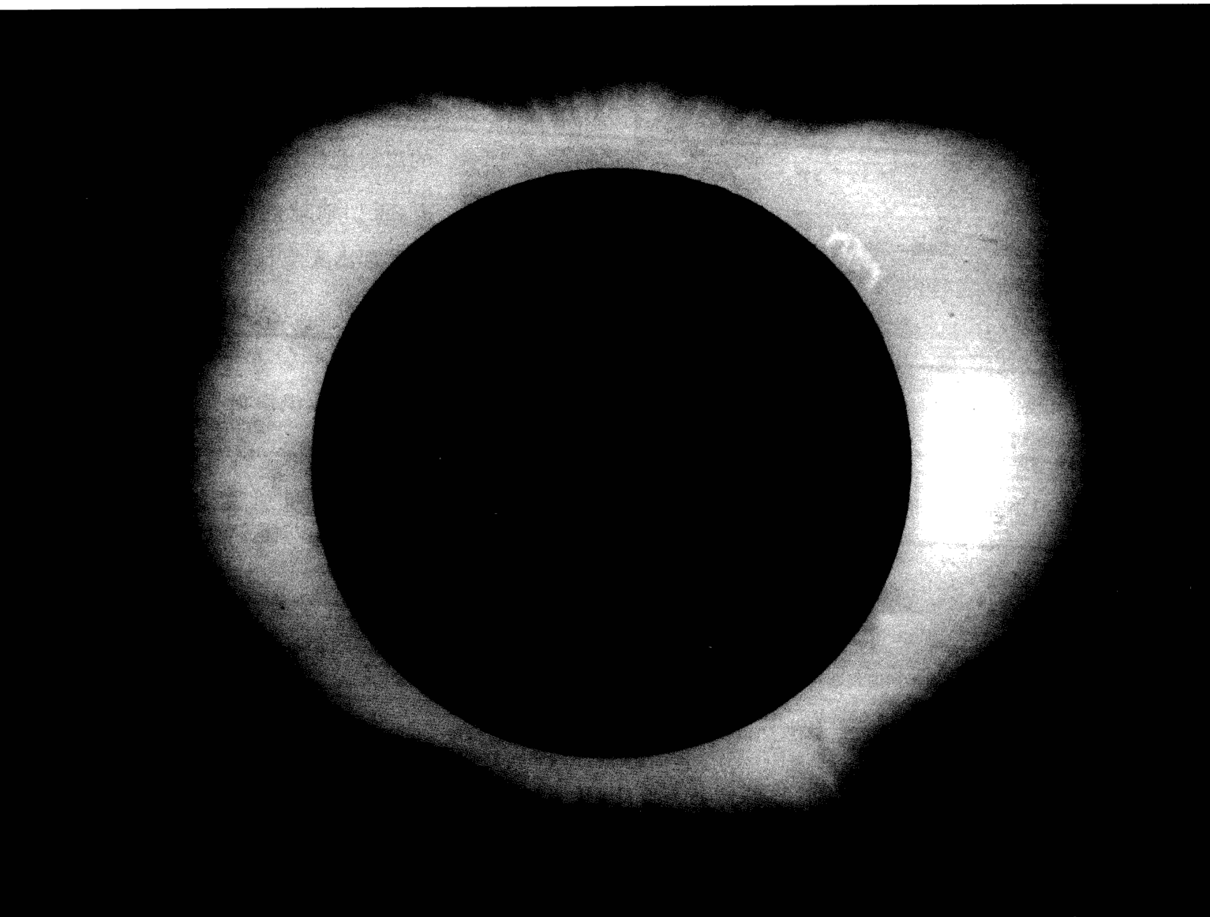
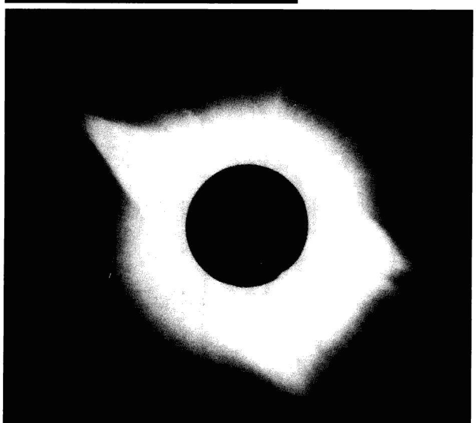


**图312　1914年8月21日日食**

太阳活动衰期的日冕，在太阳的赤道力向伸长，刷毛状光芒在极区射出。可和图313的1905年极大型日冕比较。



照片上所拍的日冕情况不仅仅依赖于它真实的结构，也随我们使用的仪器的亮度而有不同，例如镜箱的相对口径、底片感光的速度和露光的时间等。日冕的亮度从太阳边缘到它不能和天空分辨的区域减弱得很快。露光短的照片只表现出日冕的内层明亮部分，它的喷射线有骤然被割断的情况，这是因为它的亮度落在底片感光的范围之外了。如果露光再长久一些，内层日冕就会露光过久，光芒伸长得像利剑，但是它漂亮的几何结构便被淹没在模糊椭长的晕状光轮里了。图 313 是我们复制的 1952 年 2 月 25 日的几张日食照片，它们表示出日冕因离日轮的距离不同而发生的形象上的演变。



天文学家的责任自然不是因欣赏日冕的美丽才去拍摄艺术的照片，他们是要了解日冕的性质。很自然的看法是把日冕看做太阳的高层大气对太阳光辉的漫射，正如地球的大气漫射日光呈现出天空那种特殊的蔚蓝色一样。对于这种漫射光线做**偏振**和**分光**的研究，可以使我们认识漫射光的粒子的性质和大小，以及日冕气体的温度和所受的压力情况。

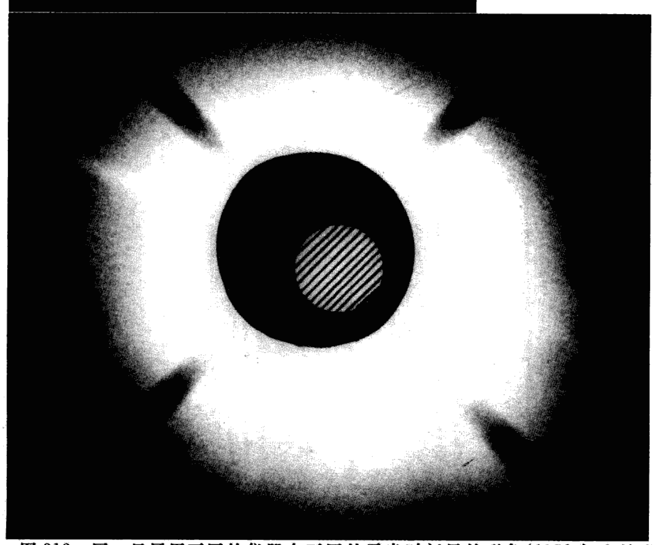


**图 313　同一日冕用不同的仪器在不同的露光时间里的形象(1952 年 2 月 25 日在喀土穆拍摄)**

上面两图是克吕贝尔教授用同一仪器($f/55$)所拍摄，第二片露光时间加倍，底片感光更灵敏。下图是法国观测队用亮度大的镜箱($f/4$)所拍摄，内日冕被一个帘幕掩蔽，帘幕由两条线系着，片上显出它们的黑影；月亮的位置是中间有线条的小圆。由图可见日冕并无明确的界限，它的大小和形状随所用以拍照的仪器而改变。可见的最长的日冕射线可以高出日面几百万千米。

首先谈一下偏振。光学家有滤光器(如常用的偏振片)，它只让某一平面上的振动完全通过，而阻止和这平面垂直的平面里的振动通过，并将这两平面间的振动

按一定的比例减少。如果我们透过这样的一个检偏振器去观测一个光源，就是说，让能透过振动的平面旋转过一切可能的方向，我们就可以发现这两种情况：或者光源的外貌和明亮不改变，在这种光线里并没有特别优惠的振动面，这便是非偏振光；或者随检偏振器的位置的改变，光源的明亮有或多或少的改变，这样便表示在某一特殊偏振方向上光线特别丰富，这便是部分偏振光。

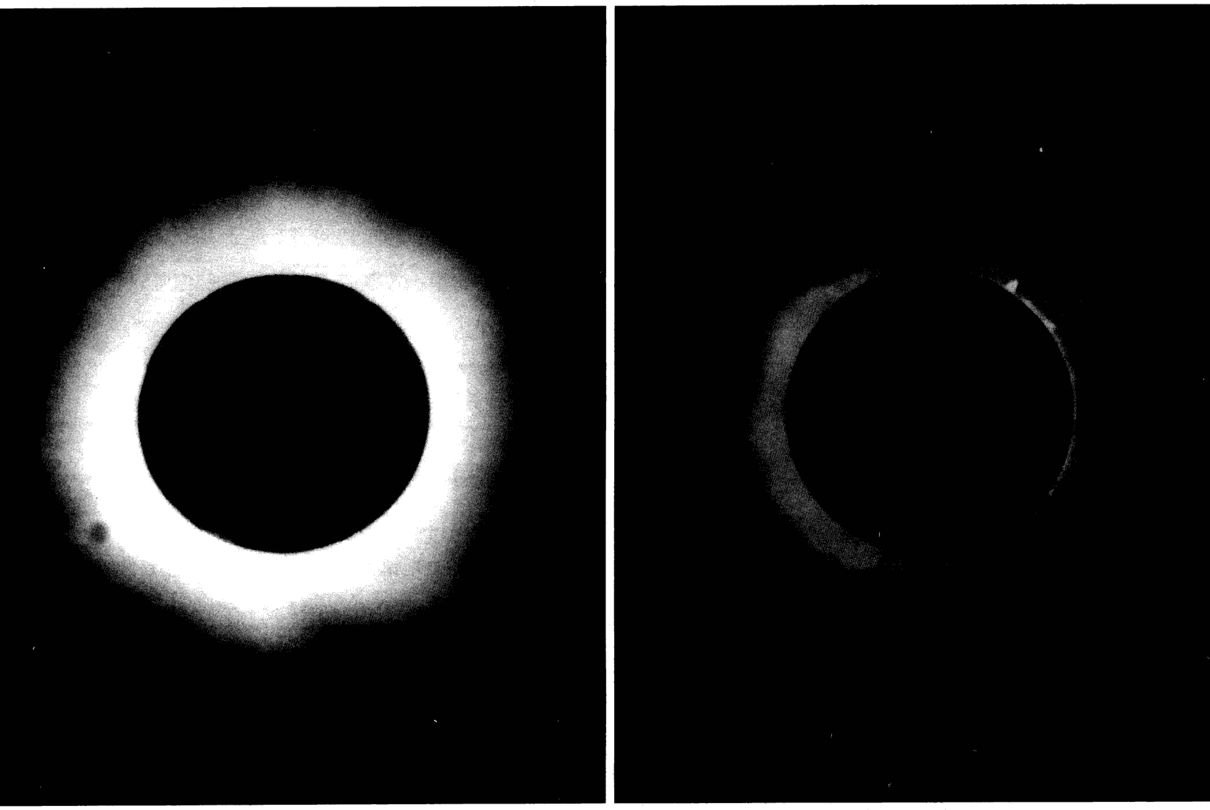


**图 314 左图：1893 年 4 月 16 日的日冕；右图：1900 年 5 月 28 日的日食。**
这一张综合图片上面同时有色球、日珥与日冕。

我们用这样的方法去研究日冕，才知道它的光线是部分偏振化的，其优惠振动面常和太阳中心的方向正交。在物理学家看来，这便说明日冕光是由于一种比光波的波长还短的粒子漫射日光而造成的。这是已经证明了的第一点。

我们现在再研究一下从光谱仪带来的知识。在近日轮处，日冕有一种纯粹的连续光谱，那上面有少数的发射线，最强的一条在绿色区，波长是 5 303 埃。在离日轮稍远一点的位置，日冕的光谱类似光球的光谱，具有很多的吸收谱线。在中间区域里，日冕的光谱中

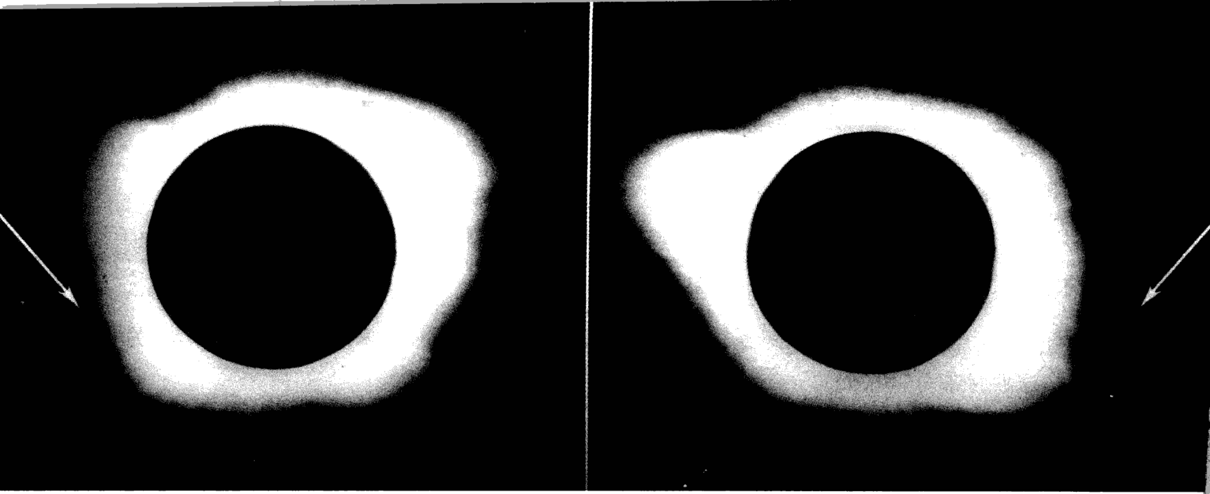


图 315　1952 年 2 月 25 日日食时所拍摄的日冕
光线先透过一张偏振镜，使箭头所表示的方向的光波穿过。两张日冕象不同，表示日冕光是有偏振性的。

夫琅和费谱线逐渐出现，但是它们的反衬度却不是正常的，整个光谱好像被一种连续光洗刷过一样。至于发射谱线，它们仅限于日轮附近的区域，即在日面上约 30 万千米的范围以内。这些发射线的强度，在日冕的各点上，在每次的日食里，都很有变化。一般说来，这些发射线除了在日轮上活动强烈或黑子多的区域之外，它们都不很明亮。

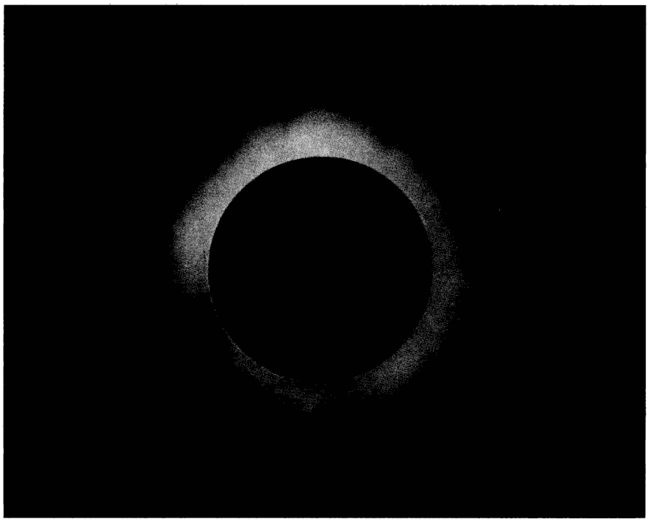


图 316　1926 年 1 月 14 日的日冕
这是太阳活动盛期的美丽日冕，向各方开展。

这些结果暗示，日冕的形成是由于来源不同的各种发射线的重合。至少日冕应分为两类：一类发纯粹连续光谱（K 日冕），一类发吸收光谱（F 日冕）。在日轮附近 K 日冕占优势，但是衰损得很快，离开日轮几（弧）分，F 日冕就胜过了它。对偏振的观测也证实有这两类日冕的区别。K 日冕是偏振化的，F 日冕不是偏振化的。

内层 K 日冕所发出的偏振化的白光，只能是被自由电子漫射的日光。如果是由于原子或者分子的漫射，那么内层日冕便该像天穹那样呈现蔚蓝色。所以 K 日冕是由电子构成的一个巨大的晕。我们观测到的光芒和其他复杂的结构，都是从这 K 日冕而来。在 11 年周期里，日冕的变化以及极盛极衰期里的特征形态，也都是由于 K 日冕所造成的。以上所说的能够发出特征谱线的

区域，只是局限于内日冕最密、最热的部分。

F日冕是相当大的粒子(数量级是1微米)，即由小颗粒的尘埃漫射日冕的光线所形成的。这些尘埃组成无一定结构的云，形状似透镜，最长的部分在太阳赤道附近的平面上。距离太阳稍远的地方，尘埃的密度便迅速地稀薄，这显然是由于太阳的引力使它们密集在下层。

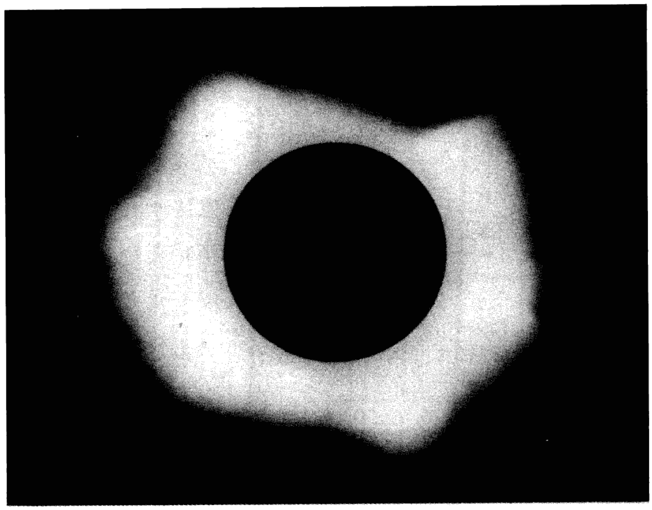


图317　1929年5月9日日食(使用红外光拍摄)

可是，日冕的范围绝不限于全食的时候所看见的部分。在清洁无云的天穹上，在太阳落下黄昏过去以后，沿着黄道有一条明亮的带子从地平线上日落之处直达到至少高出地面90°的天空，这便是黄道光(图319、图320)。黄道光好像是日冕伸长得最远的部分。按照现今流行的看法，黄道光是由散布在整个太阳系里异常稀薄的尘埃所构成的，这些尘埃超出地球的轨道之外，但却集中在黄道的附近。可是有些观测者根据黄道光的位置和强度常有显著的变化这一点，主张另外一种电子理论。他们解释这种现象，认为是由于太阳所发射的电子云漫射日光而成的，所以黄道光是由K日冕而不是由F日冕来的。我们觉得这两种理论不是彼此排斥的，电子和尘埃互相合作形成日冕，亦形成黄道光。我们必须注意，日冕光只在全食的时候，离开日轮两三度远的地方才被人适当的研究过，至于黄道光，却已达到离日轮30°远的地方。所以还剩下一个广阔的区域没有人探索，而这对于由太阳大气过渡到行星际空间的这项研究，无疑还是很重要的。

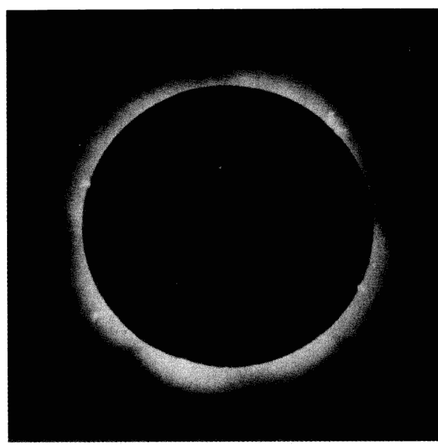


图318　1936年6月19日日食时所拍的内日冕

让我们再回来谈一谈电子日冕，并且讨论一下主要是由电子组成的气体的物理情况。前面说过，这层日冕里有一些发射谱线，那么形成这些谱线的原子是怎样的呢？经过了70



图 319 黄昏时所拍摄的黄道光(1944 年 4 月 19 日)

这幅和以下两幅都是日中峰天文台多维耶的照片。在露光 3 分钟里恒星都拖成一条线。

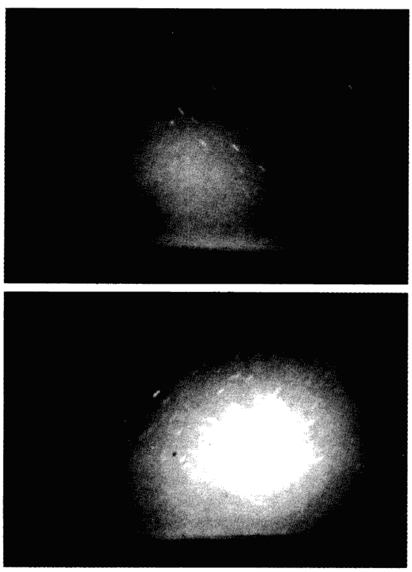


图 320 黄道光的两个形态

上图在黄昏时,下图在黎明时拍照。在这两个情形,黄道光的方向和星的拖线所表现的赤道的方向相差不远;事实和它的名称所代表的一样,它最强的部分在黄道上。因大气吸收的缘故,近地平处不太亮。在更近地平处可以看出昏光或曙光。

年却没有人能够回答这个问题。我们不知道有什么物体能够发出日冕的谱线。有些科学家便创造了“氪”这个名词去代表发射日冕特殊谱线的假想的元素,希望氦的发现历史重演一遍,使氪这个元素终于在地球上被人发现。这个问题于 1940 年始被瑞典物理学家埃德伦(Edlén)所解决。他根据德国天文学家格罗特里安(Grotrian)的建议,认为日冕谱线是由于常见金属原子在“高度肢解”的情形下发出的。我们说过,原子受了质点的碰撞或者吸收了光子,常会失掉它的一个电子,这叫做**电离**。当然,另外一次“灾祸”可以再剥夺掉另外一个或者几个电子。发出日冕谱线的原子,已经失掉它们的电子 10～15 个之多!日冕的绿色谱线是来自 13 次电离的铁原子,另外一条在红色区的强谱线(6 374 埃)是来自 9 次电离的铁原子。这样“残废”了的原子只能存在于很高的温度、压力相当小的环境里,因为这样才不致使电离了的原子再捕获到它所失掉了的电子。由高度电离而来的日冕谱线的强度,说明内层日冕的温度大约是 70 万摄氏度的数量级。那里的密度低于实验室所能造成的最好的“真空”。事实上,至少有五个独立的论证可以说明日冕的温度约达 100 万摄氏度。我们刚才所提到的一个论证是日冕谱线的来源,我们将要提到的另一个论证是日冕的射电发射。

由此可见,太阳大气的温度从光球顶上的 4 500 摄氏度升到低层日冕的 100 万摄氏度。在色球层里,我们曾经找到这种温度非常高的迹象。应该注意,正是由于太阳大气的高温,所以它才能达到特别远的距离,而不像行星上的冷大气只有薄薄的一层。高温度也使日冕气体有足够的压力,即使很稀薄,也不至于因引力而发生破坏。日冕最大的秘密便是它 100 万摄氏度的高温来源,为此有许多假设经人提出。有人以为热是从下面来的:在光球深层的湍流区域里有可能发出声波,声波

因其不能在稀薄的日冕气里传播，因此在那里被吸收且变形为热，使气体的温度增高。可见日冕是被光球里的“音乐”弄热起来的。别的理论家不引用声波，而提出超声波，更有人提出磁性流体动力波〔这是电磁波和流体动力波所综合而成的振动，在磁力场方向上传导的一种流体里，它可以传播带有磁场振动的流体振动〕去解释这个现象。剑桥大学的一派物理学家更主张另外一种看法。他们认为，太阳在它空间的行程里，因引力而搜集星际的尘埃〔这叫做吸积现象〕；这些尘埃因受太阳的引力增加速度，但在太阳大气里却受到阻止，因而使这层大气增加热量。在这种情况下，日冕的高温是由星际物质的摩擦而来的。在这么多的解释里面，最合理的结论即便是这个问题也还没有完全解决，而且日冕的温度甚至日冕的存在，对于我们还是十分困难的一个题目。

## 非全食时对于日冕的观测

平常，地上的大气比日冕要明亮一些，因空气里时常存在着尘埃和薄雾（甚至在晴朗的日子里）环绕太阳造成明亮的光晕，日冕便完全被淹没在这里面。但是这样的大气晕随地、随日、随时而大有变化。将胳臂伸直，掌和指张开，像罗马人对竞技失败者所表示的态度那样，这便足以形成一个帘幕，掩盖着日轮，这样便可观测大气的漫射。如果你在平原上或工业区里，你便感觉在你手指周围的光晕使你的眼睛昏眩难以忍受；可是在高山上或者雨后初晴，大气被清洗以后，这光晕便可以消逝不见。天空中总有一些因空气的分子漫射而来的光线，但是它的这个极小的亮度大约是太阳亮度的百万分之一，是小于内层日冕的亮度的。想在非全食时去观测日冕的天文学家们总是想利用这一点点余下的光辉而跑到高山去观测。让桑就曾经在勃朗峰超出 4 800 米的高峰上建造他的天文台。可是他也没有得到结果，日冕仍然是看不见。

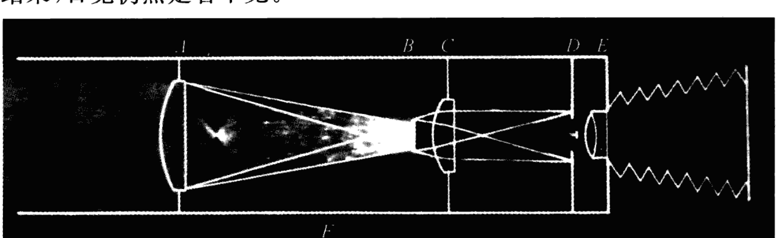



**图 321　李奥的日冕仪示意图**

物镜 A 是一个完全平滑的透镜，接收光线，使太阳的像形成在 B 处，那里一个不透明的圆轮遮住耀眼的光球，造成人工的日食。C 处的透镜使物镜 A 的像投在光阑 D 上面，D 的中心处有一个圆轮，挡住日面的光线。E 处放照相箱或别的研究日冕的仪器。

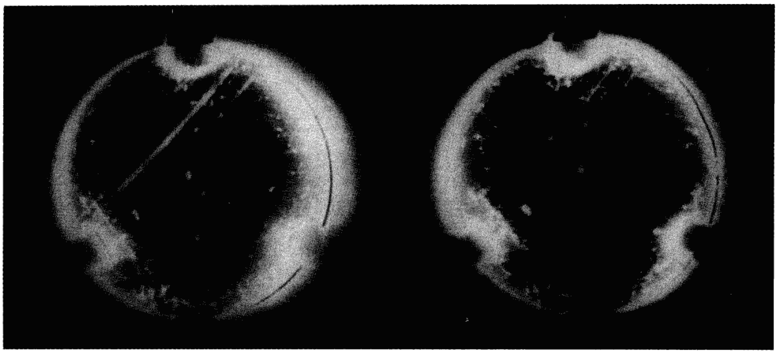


图 322　**用体视镜研究天文物镜的缺点**

透镜上的缺点（痕纹和气泡）所漫射的光，可以指明缺点的所在处。注意物镜边沿因衍射而成的晕。

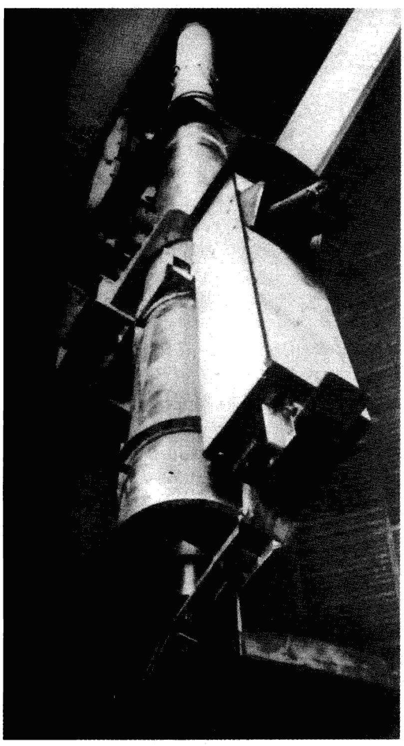


图 323　**李奥装置在日中峰的日冕仪**

日冕仪的镜筒装在观测行星用的赤道仪的旁边，在日冕仪的上面还附有摄谱仪。

大约在 1930 年年间，默东天文台的一位青年天文学家李奥感觉到前人失败的原因。他了解到，对于太阳边缘的观测，极大部分的寄生光在清明天空的情形下不是由大气的漫射而是由观测的仪器本身，即从望远镜而来的。即使是优良的物镜，总难免有一些擦痕、气泡、磨光上的缺欠，这一切都会漫射光线。物镜几个表面上的多重反射，以及边缘上的衍射，也成为一种有害的帘幕。造成漫射的一切原因在李奥的日冕仪上都被消除干净。这种仪器的原理说明在图 321 上面，这种仪器非常简单，但却可以体现发明者的天才。这只是一种一般的望远镜，不过那上面的一切寄生光都被查出而且消除掉。我们可以借用日冕仪来做肉眼观测，或加上一个摄影箱、光谱仪、单色器或者别的附件。为了增进这种仪器的效率，自然还需把它装置在高山上面，因为那里的天空常是清明的，有利于日冕的观测。像这样常在冰雪里的高山天文台，在世界上有十几个，最古老的一个当是法国的日中峰天文台。

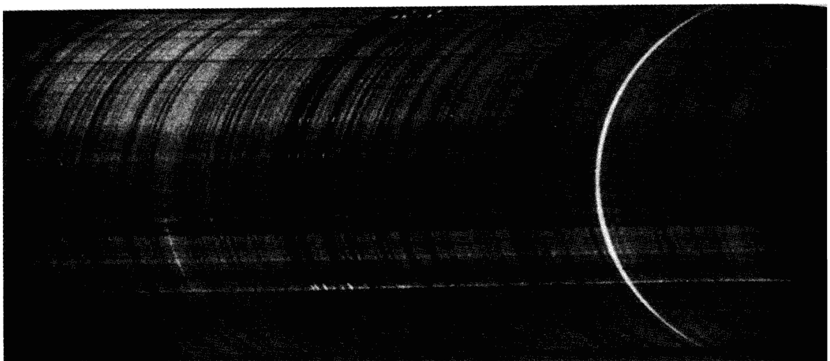


**图 324　李奥用日中峰的日冕仪所拍得绿色区的日冕光谱**

摄谱仪的光缝是半圆形的，和日轮的边沿平行。图中暗线（夫琅和费光谱）是由于寄生的日光而来。图中有两条日冕的发射明线，右边（5 303 埃）一条很强，由 13 次电离的铁而来；左边一条（5 116 埃）很弱，由 12 次电离的镍而来。图中既很亮又很短的谱线是日珥的，这些线之所以出现是因为光缝切过日面的这些"喷焰"。

即使在高山上使用日冕仪，我们所能观测到的也只限于太阳附近的日冕。日冕的明亮谱线特别容易被查出，关于非全食时日冕的观测工作，大部分是针对这些谱线和针对发出这些谱线达到相当强度的区域。这些区域是日冕里最热、特别是最密的地方，于是有人把它们叫做稠密日冕。瑞士天文学家瓦尔德迈尔对于这些区域的经常观测，证明它们是和黑子活动中心有紧密的联系的，所以黑子直接控制着太阳大气包括日冕在内的各层里一切可见的扰乱活动的形成和发展。很自然地，我们会假想这是由于黑子磁场的居间作用，所以才能扰乱遥远的日冕区域。太阳和它的电子外壳的相互关系，无疑对日珥起了很大的作用，因为观测证明了日珥和稠密日冕有紧密的联系。有时日珥像是从色球面升起，有时日珥像是从日冕获取物质来形成红色的云，然后射到高出日面几万乃至几十万千米的地方，再降落下来。所以我们有这样一个印象：太阳有时把

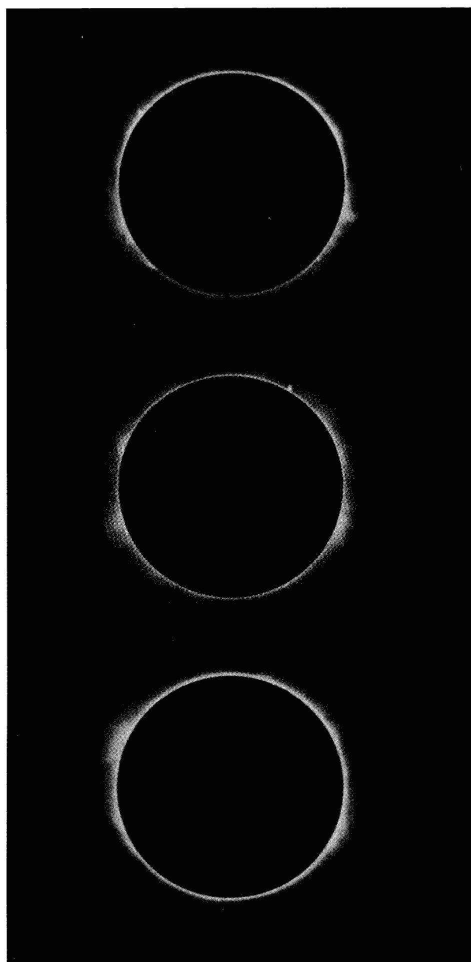


**图 325　内日冕和日珥**

李奥于 1936 年用他的日冕仪，在日中峰所拍得。

它的物质发射到它周围的空间，有时也向空间取得物质。有些天体物理学家以为，在太阳的演化里物质损失的程序是主宰的因素；另外一些天体物理学家以为，物质的吸积是主要的因素。现在我们还不清楚太阳和星际空间的物质交换的进出数量。

李奥还发明另外一种仪器，名叫日冕计，可用来观测日冕，而不需要借助于日冕仪和高山的良好条件。这是一种异常灵敏的光度计，在几百倍明亮的天空上，也能查出日冕微弱的绿色发射谱线。这需要高度的技术，使用的范围不及日冕仪那样广，但可代替日冕仪对日冕现象作连续的观测。在下一章里我们要谈到许多地上的现象和日冕都有直接的关系，所以对于日冕的连续观测是必要的。

## 太阳的射电波

我们已经说过，太阳的光谱从红外区延展到射电的长波区域；这些来自太阳的射电波有时相当强烈，足以干扰地上所发的短波，这正是 1942 年英国的雷达接收器上所发现的

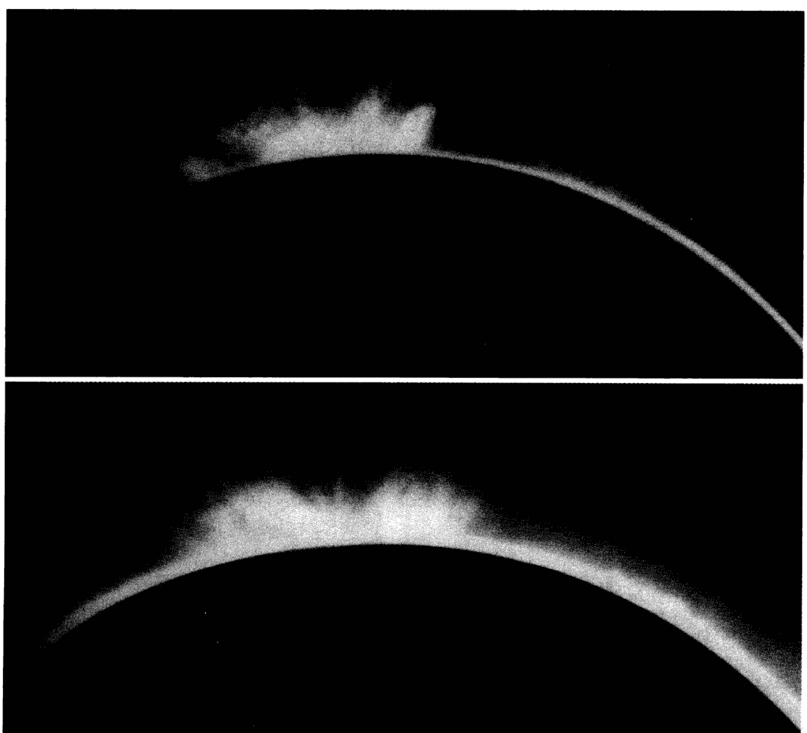


图 326　日冕的照片

李奥利用单色滤光器借日冕的发射谱线拍摄(1941 年 9 月 3 日)，上图用绿线(5 303 埃)，下图用红线(6 374 埃)。

现象。这种射电波的最早观测者立刻注意到这些波的强度和变化。今天我们经常观测到由太阳而来的射电波，其波长在 8 毫米至 10 米之间。

研究这些波的仪器不过是很灵敏的无线电接收机。接收极短的辐射波的仪器是一个金属的镜面，大得相当惊人；在这反波镜的焦点上有一根小小的天线，随着便是放大器，它具有不可思议的灵敏度和稳定度。由天线接收的能量被放大后，以电流的形式被记录下来。我们也可以把接收的能量送到一具扬声器内，使它发出叫做太阳噪声的声音。一般而言，这些射电波的接收器都是单色的，也就是说，它们只能检出和测量某一狭窄频率带内的辐射波，而这频率是一经选定就经常使用的。太阳虽是一个有力的发射站，可是因为距离很远，我们接收到的能量很微弱，所以要像通常收音机那样任意选择频率有相当的困难，可是这种困难还是解决了。射电望远镜的主要局限性便是它们的指向性的欠缺，它们总把几度内的波混淆在一起〔一个口径为 $D$ 的物镜接收波长为 $\lambda$ 的辐射，它所能分辨的最小的角度，以度表示是 $70\lambda/D$ 度。例如，1 米口径的望远镜，接收波长 5 000 埃的光，分辨的最小角度是 $0''.13$。可是，一具 7.5 米口径的射电望远镜，接收波长 1 米的射电波，分辨的最小角度只有 $9°50'$，等于太阳直径的 18 倍〕。为了确定太阳表面的发射点，我们使用了复杂干涉仪的装置(图 327)，或者求助于日食时的观测。星球的射电研究虽然有这种内在的困难，但是在另一方面，射电天文学有它



图 327　一列有 32 个抛物面射电望远镜，组成对于赫兹波的干涉网，增加通常天线的微弱选择性，以便区别太阳大气里较强的射电区域

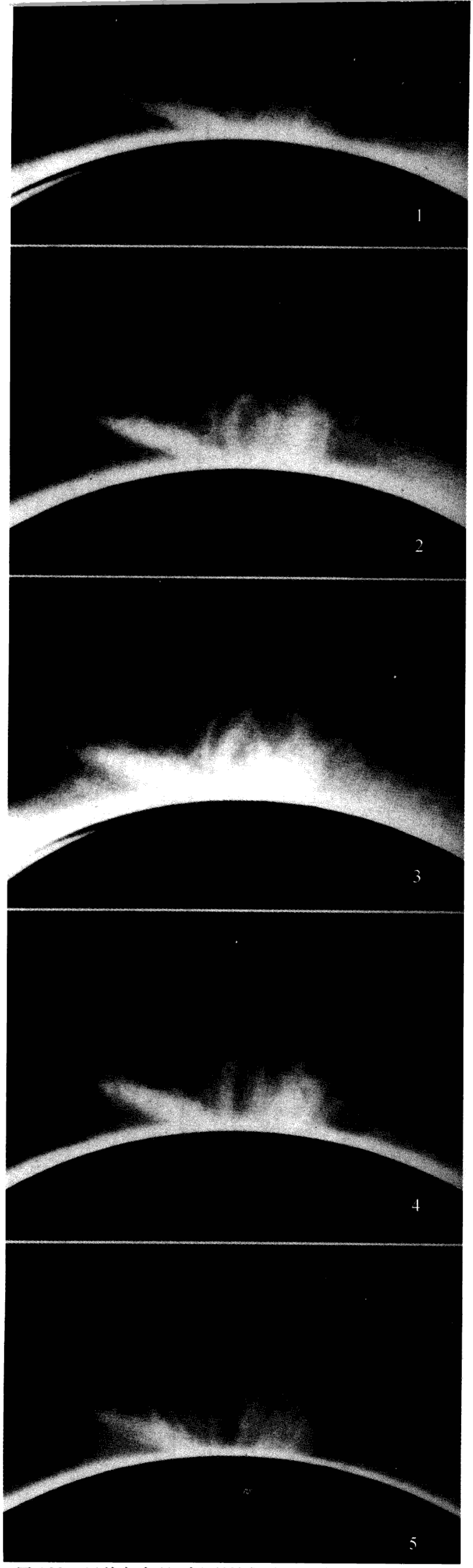


图 328　用单色光(红光)所拍得的日冕电影中的几片
(李奥于 1941 年 9 月 2 日用同一仪器拍摄)

优越的地方；事实上，光学望远镜的仇敌(云和雾)，它都含笑地加以鄙视。赫兹波很容易越过云雾的障碍，只有暴风雨才能干扰它们的接收。反之，用来接收太阳的射电波的仪器，对于一切寄生噪声感觉都很灵敏，如汽车、飞机以及各种电动机所发出来的电波。所以我们修建射电天文观测站时，总是选择远离工业中心、飞机场和一切电台的地方。

为了明了太阳的射电现象，我们应该想到色球和日冕的气层里原子都是遭到高度电离的，因此那里含有大量的自由电子。像这样的电子气会吸收电磁波，对于愈短的波，要得到完全的吸收，所需要电子气的密度也该愈密。例如几米波长的波，就透不过稀薄的上层，因此这样的波就不能从下层而来，而是从能吸收这些波的上层而来(这又是基尔霍夫定律所规定的)。

试作一个比喻：电子气好像是一张捕捉电波的网，对于长波，网眼不需要很密，只要日冕的稀薄的气体便足够了；可是要捕捉短波，便需要色球内电子很密的网。自然，我们只能够用能挡住波的网去吸收在网前方所发出的波，所以我们所接收的波愈长，就是从太阳大气的愈上层发出来的。这一点可以解释许多实际现象。

我们说过，太阳所发的射电波是很有变化的，而且和黑子的活动很有联系。可是经常有一种极微弱的辐射，即使在没有黑子的时候也是存在的，观测者把这种辐

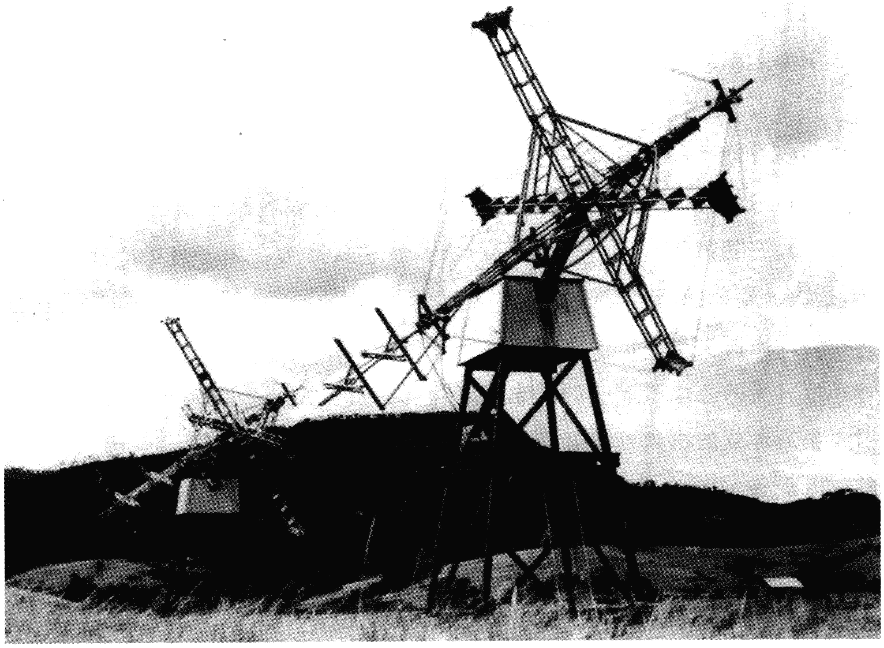


图 329　射电波的摄谱仪，用以研究太阳的射电波
澳大利亚的物理学家对于射电天文学有特殊的贡献和重要的发现

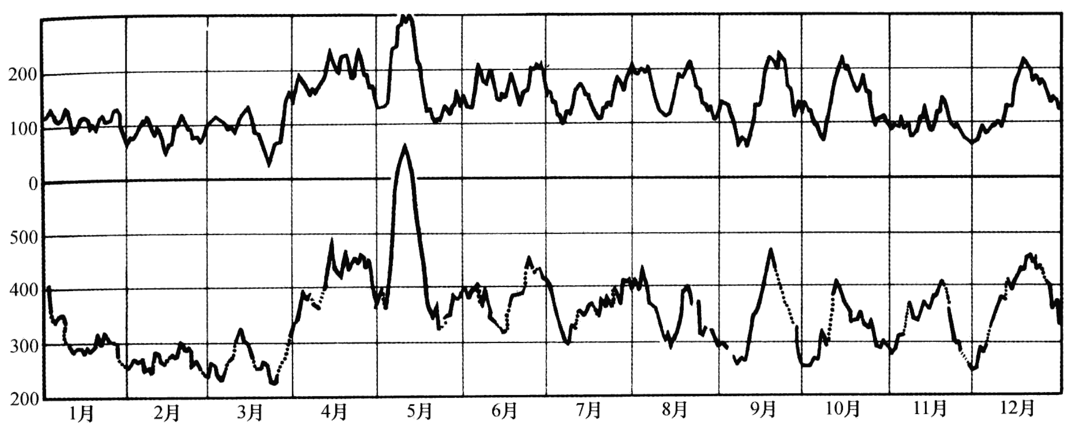
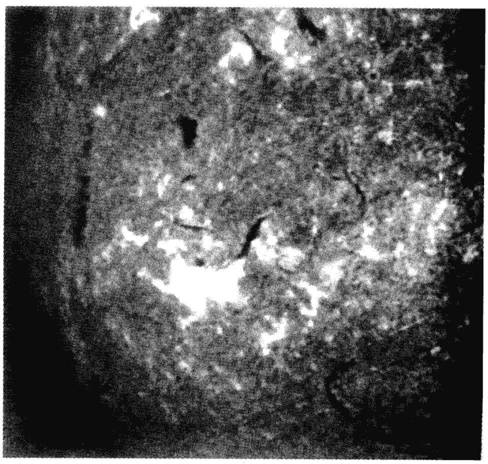



图 330　太阳活动的指数(沃尔夫数字见图中上曲线)和太阳的射电波(波长 10 厘米)的强度两者之间的相关情况

射叫做宁静的太阳。对于分米波(即波长是几厘米的波)来说,宁静的太阳像一个 1 万摄氏度的黑体那样在辐射;对于 15 厘米的波,它相当于 10 万摄氏度的黑体;最后,对于米波来说,它便相当于 100 万摄氏度的黑体。如果我们记住刚才所说过的,愈长的波发自愈高的层,我们便会明白(对射电波强度的测量也证明这一事实)上面说过的:温度从色球低层

的5 000摄氏度迅速升到日冕高层的100万摄氏度(在10万千米高处)。

除了宁静太阳的辐射以外,我们还观测到和黑子有关联的射电波。但是,这些波的性质按波长来分很有区别。对于分米波来说,仪器记录的强度只有微弱的起伏变化,并且和黑子面积有紧密的联系,但和黑子在日轮上的位置无关。对于超过1米的波来说,当黑子经过地球的日面中心线附近的时候,我们发现有强烈而无规则的呈点状的辐射,每一点历时只有几秒钟,这种电波叫做射电暴。它只发生在黑子过中心线前后的短暂时间里,这表示辐射的能量只能是从一个顶角为30°或40°的锥体发出来的。这是我们第一次找到太阳所发出的定向电波。黑子发出的波的稳定性,也许是由于活动中心附近色球和低日冕的高温所造成的。光斑区和稠密日冕是同一现象的另一方面的表现。至于射电暴所形成的机制可能更复杂,而不仅是一种热辐射,我们可以把它比拟为实验室里的放电现象。



关于太阳的射电知识,我们还必须谈到由色球爆发而来的辐射的巨大跃变。图331是默东天文台所记录下来的一个例子(耀斑)。在长波的情况下,这种现象更加显著。这些跃变比由光线观测出来的色球爆发总要迟几分钟,这延迟的时间随波长变长而增加。如果我们记住长波射电是由太阳大气的高层发出来的,我们便应该设想一个爆发的扰动,它由色球传到日冕,依次由愈来愈高层发出愈来愈长的辐射。这种解释

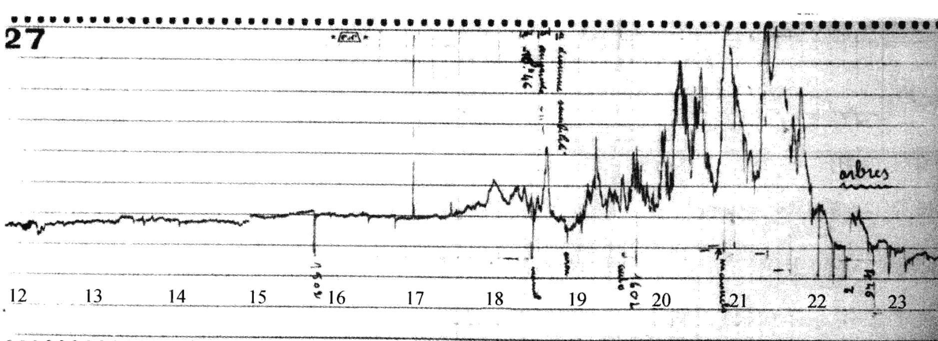



图331 射电波的忽然增强(用55厘米波长记录)和色球爆发(上图)同时出现

已经得到证实，因为澳洲的物理学家在一些跃变的进程里，直接追寻过发射的区域，曾证明这些活跃区域可逐渐上升到几十万千米高层的日冕里去。色球里一种猛烈的活动现象，例如爆发，便影响日冕里所发生的剧烈反应，这使我们深深地感觉到太阳大气的一致性，甚至行星系的一致性，因为在短波传播的同时便发生电信号的衰减，而且20个小时以后，也许就有一个美丽的极光出现，同时也发生磁暴和射电暴。

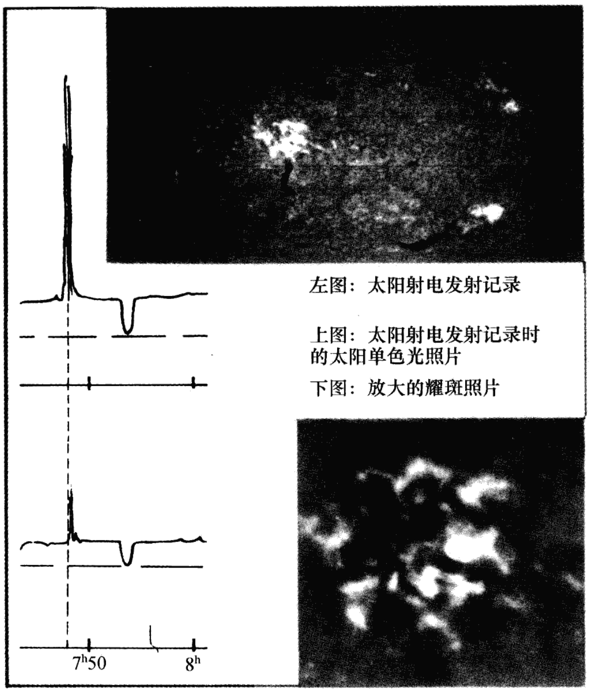



**图 332 爆发在日冕里所生的感应射电波的记录**

1950年8月15日拉菲纳尔在默东天文台制作。短波(55厘米)发射早于长波(117厘米)1分钟。也许是由于同一的扰动渐次达到上层的日冕，以形成愈来愈长的波。记录中向下的钩状纹是用以决定零点的。

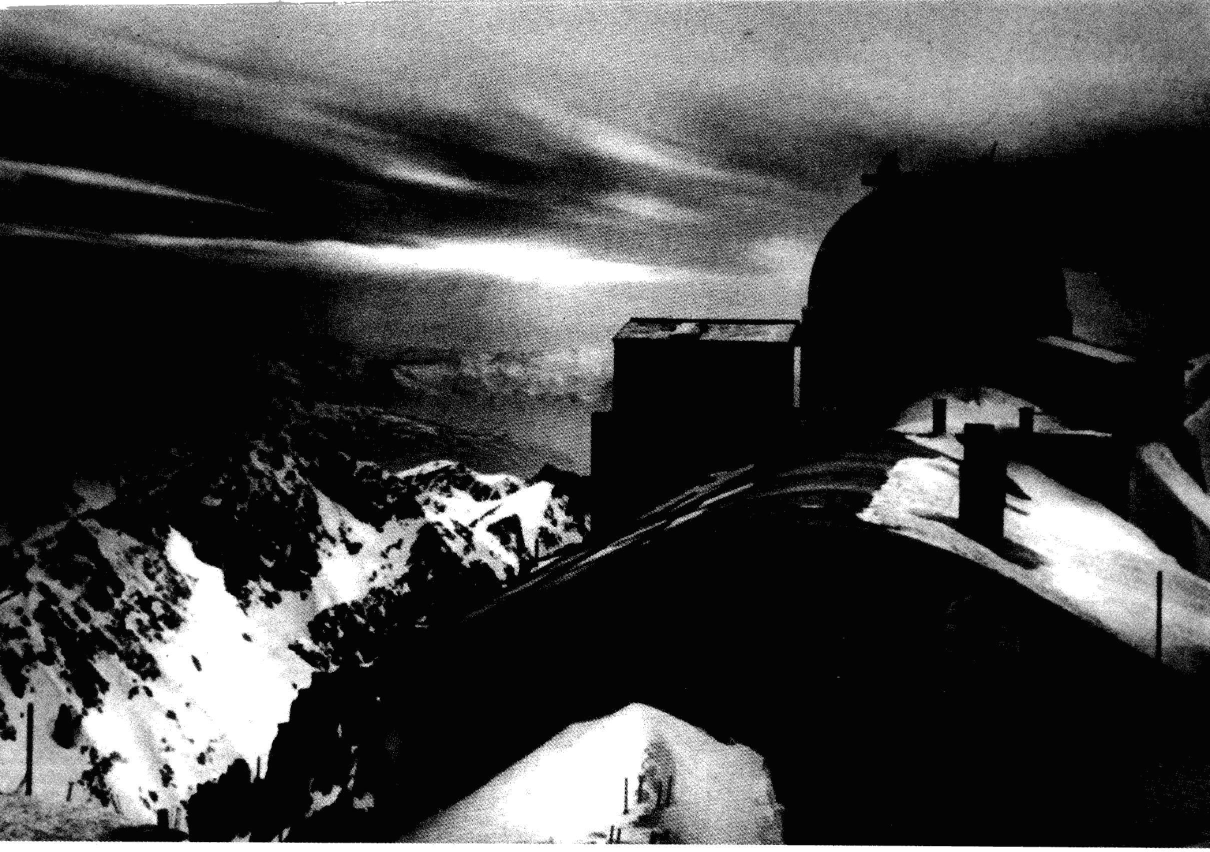


图 333 日中峰天文台

# 第二十四章

# 太阳与地球

地球围绕发出大量能量的太阳做永恒的运行，不断地接收能量，使地面活跃起来：风吹、水流、花开、果熟，保证了生命的一切必需条件。除了这不断的光流和热流之外，我们还从太阳那里得到更细微和更经常变化的作用，这些作用对于地球物理的各种现象都很有影响。大家已经承认这些作用在实际生活里有重要的意义，所以我们特别在这一章里来谈这一方面的问题。

# ◀ 高层大气里的电磁现象 ▶

任何发射器所生成的赫兹波都像光波一样沿直线而传播，因为赫兹波和光波性质是相同的。可是我们都知道，一具好的短波接收机可以接收很远的完全被地球本身遮蔽了的电台电波。从地球相对的那一边所发出的波，自然不是穿过地球而来的，它是围绕地球而来的。我们能够想象到这种传播的机制，即自然所采取的办法：在高出地面 100 千米或 150 千米的高层大气里，有一面反射射电波的镜子，这就是电离层。电波是借助于在地面和电离层之间做多次的反射而传播的(图 334)。由此可见，电离层在射电波的传播上有极重要的作用。

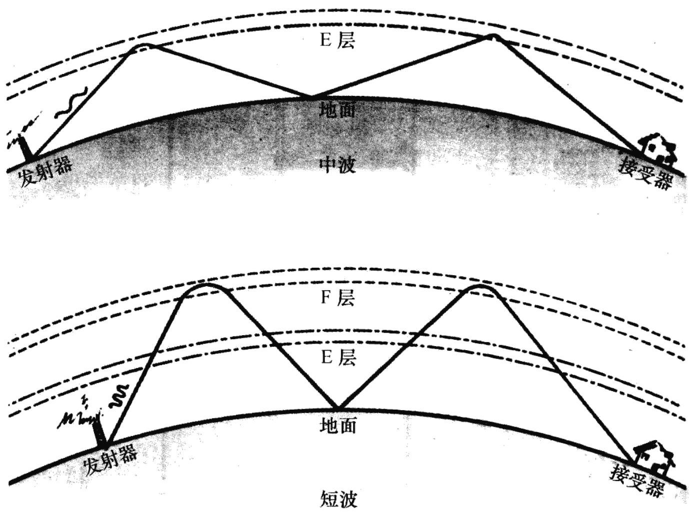
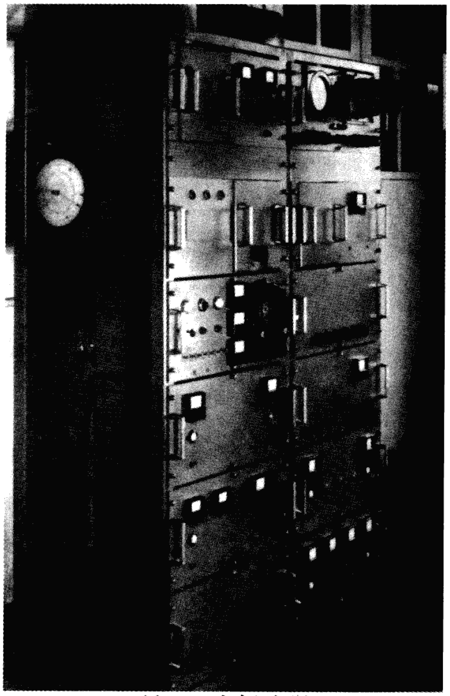



图 334　电波围绕地球传播，在电离层里做多次的反射(示意图)

电离层究竟有什么性质呢？这是一层空气，那里大部分的氧和氮的分子和原子都电离了，因此在地球寒冷大气的这一区域里，有点像炽热的太阳大气里那样，有电离的质点、离子和电子。我们说过，电子吸收射电波，而且特别使电波发生折射，因为吸收和折射是两个共生的现象。一层电子把一束电波弯曲，有一点像水面把插在水里的树枝弄成弯曲的形状一样。如果这层电子的密度相当大，或者电波的波长相当长，就会发生全反射。

一层电子把光线和赫兹波或多或少地弄弯曲一些，同时也让这些波通过一部分；可是到了某种波长，波便只在电子的环境里屈折而不能通过去，于是电离层的作用就成了一面


图 335 电离层探测器

镜子。这样的反射波的最短频率叫做电离层的临界频率。

用于研究电离层的主要仪器叫做电离层探测器(图 335)。这种仪器有一个发射部分,向天空发射很短的频率可任意改变的一系列的电波;另外还有一个接收部分,把所发出去的和由电离层返回来的电波一并记录下来。于是我们可以测定临界频率(因而测定电子密度),再按发射和返回的信号中间所经过的时间,去测定电离层的高度(图 337)。通过这样的探测,我们发现电离层不是单层的,而是有不同的几层。从地面起,电子的密度渐渐地增加,到了 100 千米的高空,密度骤然增加到原来的 10 倍,这叫做 E 层(图 334)。离地面 220 千米附近还有一层,叫做 $F_1$ 层;离地面 300 千米是第三层,叫做 $F_2$ 层。$F_1$ 和 $F_2$ 两层不常是截然分开的。在 80 千米附近还有一个 D 层,没有 E 层那样确定。这样的分层随地、随时、随日而有显著的变化。观测表明,这些变化的主要因素是太阳离地面的高度。例如在中午以后,电离最强;在黑夜快结束的时候,电离最弱。同一天里同一小时里电离的情况,夏季比冬季强,赤道区比两极区显著。这一切都说明电离是由于太阳辐射的作用。日食的时候电子密度减少,也证明了这个结果(图 336)。

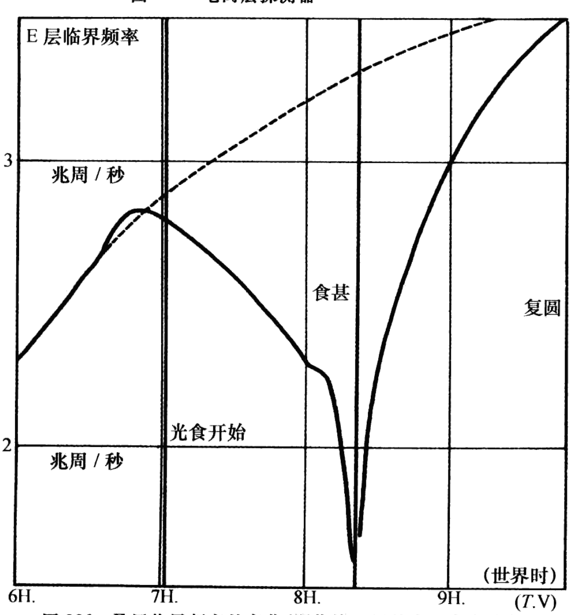


图 336 E 层临界频率的变化(即指这一层的电子密度的变化)

这是在 1952 年 2 月 25 日日食时的观测结果。虚线表示正常的变化,实线表示日食那天的变化。由图可见电离作用的减少在日轮被遮前就开始了,这说明电子的产生可能在太阳大气的高层。

既然对电离层起作用的是太

阳的辐射，那么究竟是哪一种辐射呢？在日食的情形下，高层大气的电离变弱的时候正是光线减少的时候。所以这些光线里有一些能够使原子电离的成分，那么我们该在太阳的光谱里去寻找，有哪些辐射可以剥夺空气成分里的电子？这样的选择是很有限的。氮和氧的分子或原子都是相当能够固定住它们的电子的粒子，而只有短波的紫外光子才有足够的能量使它们失去电子。太阳里的辐射里只有波长短于1 200 埃的波才能有这种作用以便形成电离层。我们如果不用昂贵的火箭，要去研究这些不可见的辐射，最好从电离层的观测中去探寻。

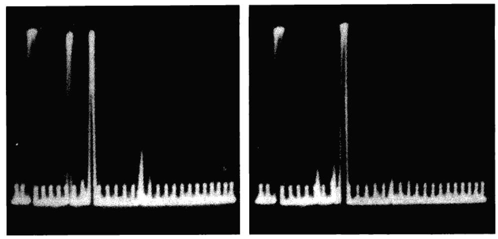


图 337　由电离层探测器所发出的信号和从电离层而来的回波信号与回波之间的距离可以得到电离层的高度，每一分格代表 50 千米。左图：有信号与由 $F_1$ 层而来的双回波，它是一种双折射现象，相当于冰岛石对于光所起的双折射。更远处还有一个很弱的回波，这是地面和电离层之间两次来往的回波。右图：发射频率较高，有一个由 $F_1$ 层回来的快消逝了的弱波和由 $F_2$ 层而来的强波

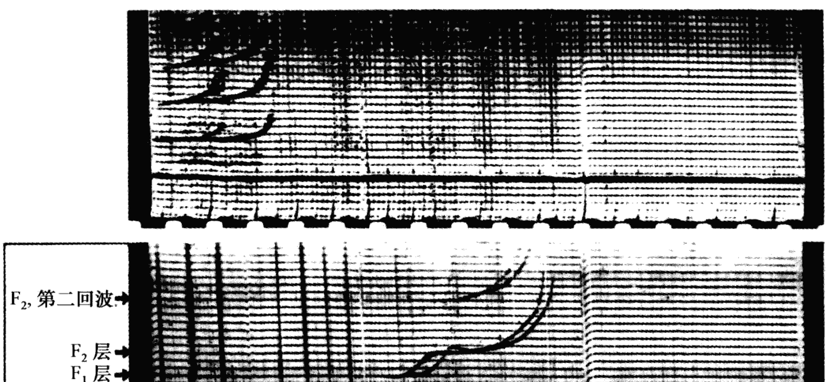



图 338　三幅电离层探测图

这是探测器的自动记录，表示反射层的高度为发射频率的函数（水平上每一区代表 50 千米的高度）。每一反射层作出一条黑线，对于某一定频率（临界频率）黑线忽然中断。同一层可以出现两三次不同高度的反射，因为它们是同一发射在地面和电离层之间往返两三次的回波。(1) 1952 年 2 月 22 日在法国邦吉日出前的记录，电离作用很弱，临界频率很低，因为电子少，只能阻挡和反射长的电波；(2) 1952 年 2 月 23 日在同地 11 时 20 分的记录，电离作用强，E 层不显著，$F_1$ 和 $F_2$ 层却很明显；(3) 1952 年 2 月 24 日在同地 22 时的记录。这是黄昏探测的典型，只看见有 $F_2$ 层，一到临界频率，断处便很突然，这说明电离层很薄，可是至少有 4 次的连续反射。

我们从这里得到的第一件事实是，造成而且维持电离层所需的紫外辐射的能量，应该比一个 5 750℃的黑体所发出来的能量还要大得多。所以，同可见光区和射电波以及红外区比较起来，紫外极端的太阳辐射要强烈得多。其次，电离层随太阳活动的周期有很大的变化。因此，这样的变化也好像存在于使原子电离的辐射里。那么，就紫外光来说，太阳便是一颗变星。我们可以合理地假设，由单色光观测所表现为伴随着黑子出现的色球和日冕的光亮部分，是造成电离层的紫外波的来源。根据这个假设，我们经过统计研究，曾经发现而且证实在电离层和太阳大气的活动区之间有极密切的关系。对日食的研究也得到同样的证明：月亮一遮蔽太阳的活动中心，我们就发现电离层里的电子密度发生变化。

太阳紫外线对于电离层作用的另一惊人的表现，发生在色球爆发的时候。在色球爆发后几分钟内，我们就在暴露在日光里的半个地球上发现短波电波的普遍衰减〔这种衰减忽然发生，使接收短波信号站的收报员时常误认为这是因为维持仪器的电源忽然断电〕，因此对无线电通信有很大的妨碍。这是因为下面 D 层大大增强，我们当做镜子吸收远处电波的 E 层或 F 层被遮掩了。可是，在 D 层正常反射的长波，却很容易接收到了。这种衰落历时大约 10 分钟到 1 小时，但复原不像衰减那样突然，而是逐渐的。

更有害的爆发是**射电暴**，从对这种现象的光学观测到射电扰乱的开始，中间可以经历 20～40 个小时。这种射电暴在整个地球上同时发生，电离层的结构完全被破坏。在好几天里，无线电通信非常困难，甚至成为不可能。这种在电离层里的灾害性的事件，从人们

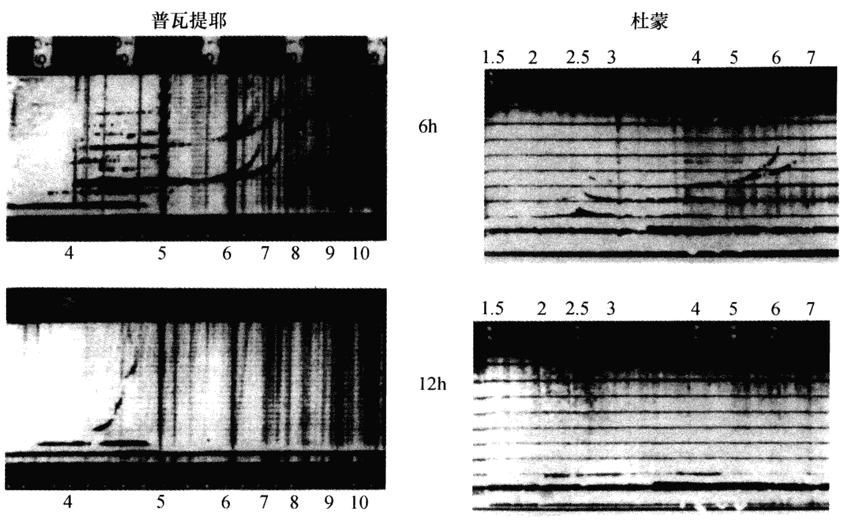



**图 339　射电暴前后的探测记录**

由图可见，电离层的通常结构在射电暴时完全被破坏了。左图在普瓦提耶记录的 F 层，好像在飞起，同时在杜蒙记录的(巴黎附近)，好像完全没有电离层。

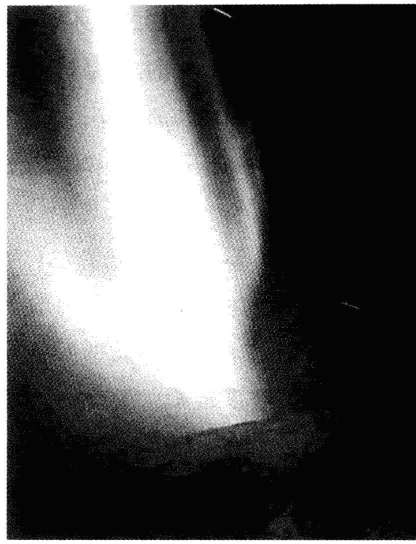


图 340　1935 年 1 月 27 日出现的北极光
在露光数分钟里，因周日运动星象拖成小的长条。

的经济观点来看，是很有影响的；同时，在高层大气里出现明亮的有各种各样形态的极光（图 340）。关于极光的地理分布原因，按照斯托末（Störmer）的理论，认为是因色球爆发而来的巨大电子流来到了地球的附近。这种电子流的速度可高达每秒 1 500 千米，这是由日面爆发和射电暴或者极光出现之间所经过的时间而求得的。射电暴和极光现象，显然必须在电子流碰到地球的时候才能发生。太阳边缘所发生的爆发对于这一种衰减是没有作用的，这说明电子流大部分是垂直于日面发出来的（图 341）。

我们可以把上面关于电离层的叙述完全应用到地球的磁场上去。地磁场的方向和强度在其平均值附近的起伏变化是和太阳有联系的。日面爆发在磁暴上的效应也有两类：(1) 和光学爆发相伴随的骤然间的钩形跳动；(2) 使磁针发生剧烈而持久地颤动的磁暴，它可以在日面现象发生后延续两日之久，同时也发生了射电暴和极光。因其对实际生活的重要性，我们特别详细叙述了太阳对于地球高层大气的电离层的作用。这种重要性表现在为电信服务用的根据太阳的观测而作的关于电离层情况的预报上。例如法国蓬多瓦斯电台每晚必发出一种国际电报，报告默东天文台每日所观测到的太阳的主要情况。阿贝提说得好：这是太阳健康情况的报告，也可以说是日面的气象报告。

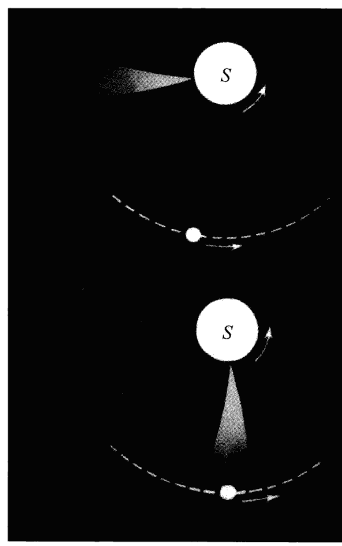



图 341　色球爆发所射出的电子流扫过地球
一般的情形地球不在由日轮中央爆发而来的电子流里面。

1950 年 5 月 9 日
09222　18731　13711　251×5　78718 90520

图 342　1950 年 5 月 9 日国际射电协会的电报
这密码电报的意思是：前次电报在两日以前。光斑暗条区活动中等。一群黑子在西经 25°和南纬 15°，年龄 3 日，I 级；一群黑子在西经 25°和南纬 15°，年龄 1 日，I 级；一群黑子在西经 45°和北纬 5°，年龄不明，两度过日轮，A 级。爆发经德国文德斯坦天文台观测，在西经 75°和南纬 15°黑子群里，观测开始在世界时 5 时 20 分。

虽然我们明白电离层的紫外辐射和粒子辐射是由于色球和日冕的异常活动所造成的并由炽热的区域发出来的，可是我们却不太了解这些辐射生成的机制，它们对于高层大气的作用也没有得到确切的解释。就紫外线来说，究竟是什么波长的辐射在各种电离层的形成中最起作用呢？是由于色球所发出的连续光谱和氢原子的特征谱线〔我们这里所说的谱线和连续光谱是氢原子落到基态时所发出来的，相应的辐射所形成的谱线系叫做赖曼系。这系内波长最长的谱线是赖曼α线，波长是1216埃。以后的谱线愈来愈紧密，如巴耳末系，从波长为912埃起就融为连续光谱了〕呢，还是由于日冕所发出的X射线呢？无疑，将火箭射到高空去研究太阳的辐射，可以带来解决这些有争论的问题所必需的数据。这些问题更多的却是和那些神秘的宇宙线的问题联系起来。宇宙线是由具有极大能量的质点所组成的，不断地从各个方向向我们射来。纵然这种辐射的强度有相当大的稳定性，但是当色球爆发时，仍发生大的变化。所以，太阳活动是促使宇宙线发生的因素，但是要肯定我们所接受的一切宇宙线都是从太阳而来的，却是过早了一些。

## ◀ 太阳活动的周期、气象变化与生命 ▶

太阳上的气象变化和我们地球上的晴雨气候有没有关系呢？专家回答说无疑是有的，可是这其间的关系既很不简单，又不太清楚。气象情况随许多地方性的因素而变化，必须从广大的土地上找出平均的情况，我们才能找到它和太阳活动之间有意义的联系。

有时大自然便作出这种平均的情况来：大河（如尼罗河）、大湖（如维多利亚湖）的水平线反映出江湖支流降水量多寡的情况。由这些大的汇水处知道，它们的水平面在黑子极盛期比在极衰期要高一些。

一个很奇怪的现象，是在树木生长上也有11年的周期。大家都知道，树木的横剖面上有一种明显可见的圈痕（图343），按照道格拉斯（Douglus）的研究认为，树木的这种年轮，平均说来，在太阳活动极盛的年代里要大一些，在宁静的年代里要小一些。这便是日面黑子对地上生物的影响很显著的表现。我们不知道这种影响是直接的还是间接的，抑或是因气象因素，降水和温度的中间作用而造成的。温度不像下雨那样容易受地方性的偶然性的影响，和黑子的多寡有很强的关系：全地球在某一季度里的平均温度，在日面活动极盛期好像是极小，而在极衰期好像是极大。这种关系在赤道带特别明显。早在1801年，伟大的天文学家威廉·赫歇尔便想到黑子对于气候有这种影响。

大气的压力也像受黑子的影响。汉森（Hansen）和南森（Nansen）〔挪威有名的北极探险

家(1861—1930)〕研究了这个问题，在30年前便已经得出这句结论性的话："一般说来，太阳活动加强引起大气环流的活跃……使气压的极大增高，极小降低。"这个结论后来得到充分的证实。既然黑子的影响增高了高气压，降低了低气压，因而也增加了经常的大风的风力和稳定性，这在季风上得到证实。这种曾推动过巨舰上的帆的风，至少也和黑子有些关系。同样，暴风雨发生的次数也和太阳的活动有关。

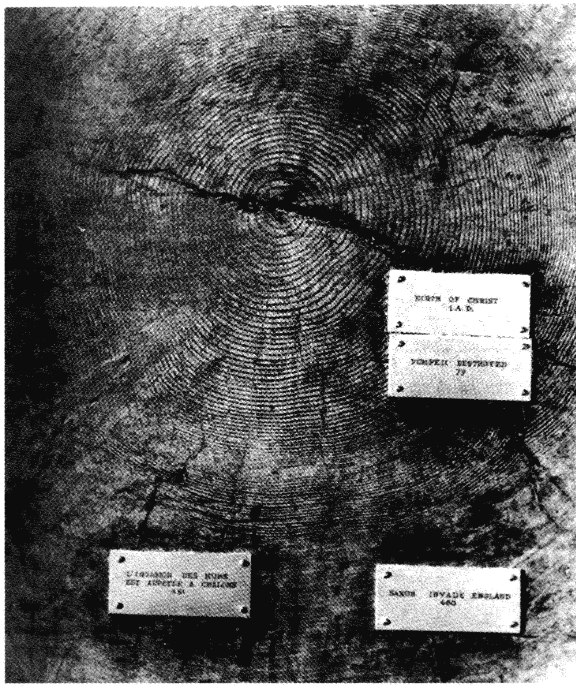



图343　2 000**年前长出的红木的横剖面，表现红木中央年轮的生长情况**

它上面所钉的小铜牌，说明某一年轮成长时历史上的大事件。由大红木的年轮的研究得知树木成长随年代而有多寡的不同。在树木成长的因素里，显然可列入太阳活动的11年周期和这周期在长期里可能有的变化。

以上所说的相关情况，都是根据统计的研究而求得的：一方面是气象因素的年或季的平均值，另一方面是黑子的数目。这些相关情况虽向我们表明联系的确存在，但相当模糊，并且未能说明这些联系的性质究竟是怎样的。随着黑子活动的变化，太阳的紫外辐射和电子辐射都发生变化。这两种变化里，究竟是哪一种影响了气象的变化？也许我们不必从统计中去找关联，而要在短期里去寻找和太阳的现象相应的气压、温度、雨量等变化的情况。这方面的研究没有得到显著的结果。可是有一些气象现象，如暴风雨和卷云的形成、云量的增多等，和由日面爆发而来的电子流所引起的射电暴与磁暴等现象好像是有关联的。

我们也知道，在平流层里，高出地面30千米的上空有一层臭氧层，这是在日光里紫外线的作用下由通常的氧气形成的。臭氧层的厚薄似乎和太阳的活动也有关。另一方面，我们知道臭氧的多寡和高空的温度与压力有密切的关系，这也许是黑子和气象现象可能存在的另外一种关联，紫外线和臭氧便成了这种关系中的中间环节。臭氧对于生物有重要的作用：它作为一种帷幕，把太阳的紫外线显著地减弱，完全隔断了波长在2 950埃左右以下的辐射。我们在讨论地球时曾说过，如果没有这层臭氧层，生物就会被无情的短波辐

射烧灼，生命就会发生危险；但是，如果大气里臭氧太多，同样也有危险，因为它把短波辐射完全阻挡，使机体生长所必需的维生素D不能形成。臭氧的过多，在事实上也许很少可能，但是在11年的太阳活动周期里，因缺乏维生素D而来的软骨症未尝不表明它有一种多寡的变化。也许有人认为，这不过是一种凭空的猜测罢了，但是太阳活动对于生物影响的可能性，生物学家和医生都曾认真地研究过。在影响生命现象的无数因素中，太阳的影响因为是很间接的，所以很难查出。现在我们只感到，太阳和气象之间的关系有一种不可怀疑的重要意义。

在本章里我们明白了发射能量异常慷慨的太阳好像有时能动摇我们对它的稳定性的信心。它有时破坏了我们的无线电通信，干扰了我们的磁针，同时又以美丽的极光来酬答我们。它影响到我们的大气，将来的气象研究也许要考虑到色球或日冕上的变化，现今惹人嘲笑的气象预报也许会有改进，长期预报也许会成为可能……总之，对日地现象的关系研究，正处在天文学和地球物理学的十字路口上，必然会成为一门最活跃而又最有实际意义的科学。

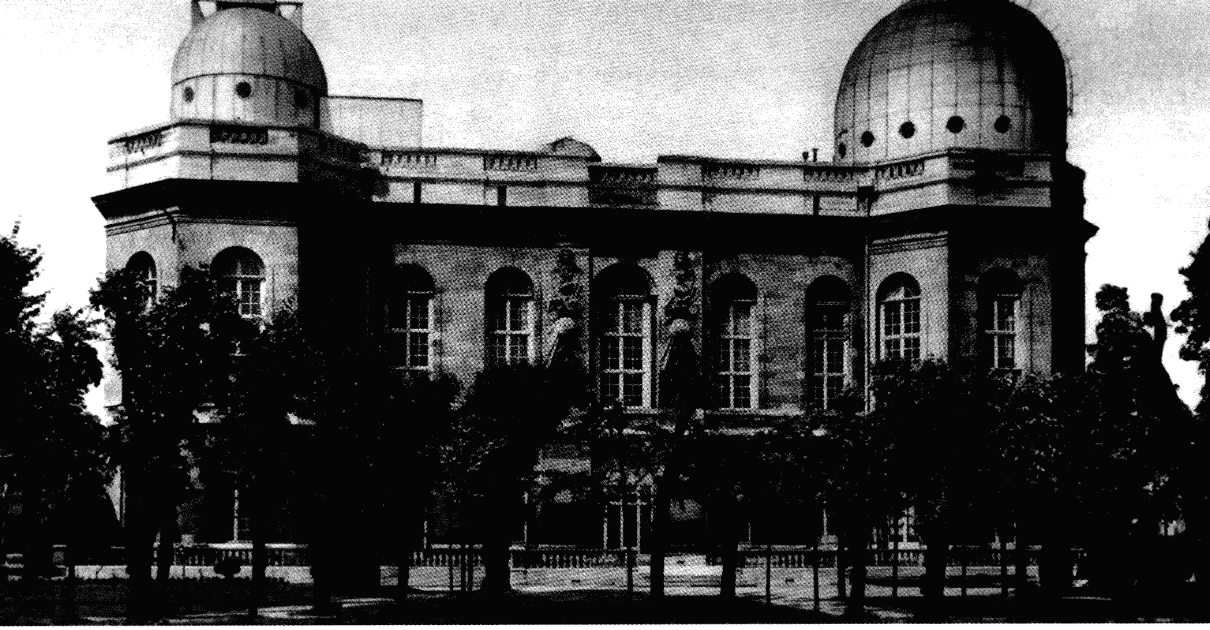


图 344 巴黎天文台

# 第二十五章

# 太阳内部

## 太阳的结构

太阳的内部也成了科学研究的对象，粗看起来好像有些荒唐。在星球的深层，一切都像是被掩盖住了，我们对此至多只能猜测而无法证明。事实上，科学的目的不只是搜集一些准确而不能了解的观测结果，天文学在很早的年代里便已超过这个阶段。既然太阳通过许多可以观测的现象给我们显示了它生活的情况，我们便可以从那里去寻找它的秘密。事实上，我们已有了不少的认识。我们已经知道太阳的质量、体积、所产生的能量、自转的特性等。我们也证明它是由我们熟知的物质，如氢、氦、氧、金属元素以及化学家知道的其他一切元素所组成的。我们认为，由在实验室发现的物理定律所综合成的普遍的原则与理论，可以应用于整个宇宙，那为什么不能应用于太阳的内部呢？

太阳表面的物质是处在6 000℃以下的气体(主要成分是氢)。这表面层只能从它下面更热〔这里我们不谈很稀薄的区域(色球和日冕),它们可以被看成是星球的外部〕、更密(因受上层的压缩)的区域接受热量,因此下层也是处于气体的状态。这样推下去……我们便可假想太阳是一个气体的球,其温度和压力从表面到中心不断地增加。把这些气体物质维持在一起的力量显然是吸引力。太阳内部有一些地方在产生能量,这些能量逐渐转移达到表面,在那里才以辐射的形态发射到外面去。从这些性质上来看,应用热力学上的久经考验的定律,我们可以发展一种定量的理论。最早向这方面努力的可上溯到1870年英国物理学家累恩(Lane)。以后更由埃姆登(Emden,1907)、爱丁顿(Eddington,1928)、米尔恩(Milne)的研究,而加以大大发展它。现今还有钱德拉塞卡(Chandrasekher)、斯特龙根(Strömgren)等人在从事这个问题的探讨。

就一级近似来说,我们可以计算太阳内部〔注意,这里所谈到的关于太阳内部的一切知识,可以应用于每颗恒星,只要我们已经知道了它们的质量、半径和能量的输出量〕各点的温度和压力,为此只需假设太阳里的物质遵循理想气体的定律,它在重力下得到机械的平衡,虽然能量由内向外做大量的转移,温度的分布总是恒常而且稳定的。在地球上,热的传播有传导、对流和辐射三种方式。例如放在茶杯内的小勺子,因传导而将热传到勺柄;火炉借对流将热分布在整个屋里;至于电气辐射器,则是用它的红外辐射来温暖我们的。恒星里的传热方式主要是辐射,很少有对流,传导则完全没有。不论传播能量的物质是什么,要使传播稳定地进行,便必须满足一些条件,那就是说,应该有一种热平衡。这一切平衡条件均可用相当简单的数学公式表示出来。所以,星球的结构问题在科学家手里就像星球的运动问题一样,变成了数学的问题。月亮和地球围绕太阳的那种有诗意的运行,在天文学家眼里变成了三体问题的一个特殊情形,而金光灿烂的太阳在天体物理学家眼里却变成了辐射平衡下的一个气体球。

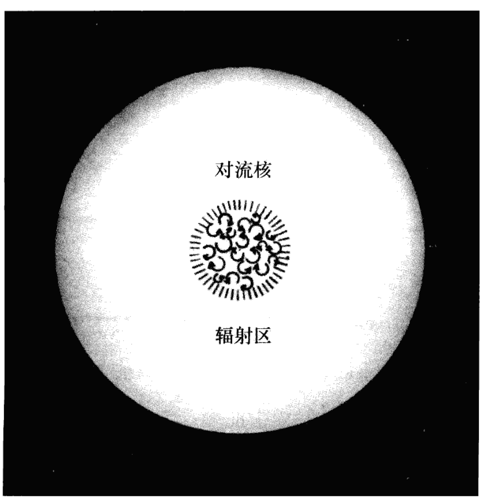



**图345 现在公认的太阳模型**

中央是高温度的小区域,又是强的对流区,那里发生原子核反应,是星的能量来源的地方;中央部周围有辐射层,不产生能量,只以辐射的方式传播能量到表面去。

在这种理论的第一阶段,能量生成的来源问题完全没有被讨论到。我们只选择一个适当的衰变量,随着在恒星里的深度变化而给予它合理的或多或少的变化。关于星

球内部能量的来源分布的每一个假设，曾有过相当于各种结构的各种模型。一个简化的看法，便是假设星球中心只有一个小区域有足够的温度和密度可以生成能量，因此整个气团内的物质被光和热的点源所弄热，热量以辐射的方式达到表面。

由此可见，恒星结构的计算结果依赖于能源分布的假设和恒星的化学成分。这样的依从关系是不太紧密的，我们总是得到惊人的高温和高压。根据 1941 年所提出的一个模型的计算结果，太阳中心的气候情况可以用下列数字表示：

温度：2 500 万摄氏度，
气压：2 000 亿（$2\times10^{11}$）标准大气压
密度：水的密度的 110 倍。

当然，这些数字都不是确定的，我们在下面就要谈到。

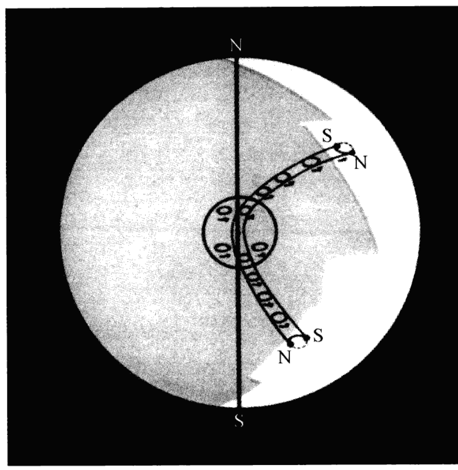


**图 346　阿耳文的黑子理论**
在核心处形成的磁性流体动力的旋涡，随着太阳普遍磁场的磁力线方向来到太阳面。不幸这磁场只是假设的，没有能够从观测方面加以证实，究竟是否存在还有问题。这些旋涡到了日面以后，便成了一群异极性的两个黑子。

根据恒星结构的理论，爱丁顿求得一个重要的结果，即绝大多数恒星差不多都是按同一种模型形成的。它们之间只有大小尺度上的区别：两颗星的差别只像金鱼和鲨鱼那样，而不像小鱼和大马的差别那样。关于恒星的质量和亮度之间，爱丁顿研究得出一个特殊的关系。这个由理论推出的结果完全得到观测的证明，质量和亮度适合的星都在一条理论的曲线上面。我们之所以离开太阳而谈到这个特殊的事实，那是因为，从表面上看，恒星内部结构的理论好像是玄想的，而在实际上是很有成就的，并且经得起实际考验的。

在上述太阳的结构中，我们在计算时并没有把它的自转考虑进去。天体物理学家的太阳模型都是静态的，可是关于太阳自转的观测结果是值得考虑的。我们说过（第十八章），光球的自转在赤道带比高纬带要迅速得多。太阳的表面因自转而变形，在比较深的层次里也应该是这样的，因此太阳内的物质可能有一种环流，或者说在太阳内气体有一种巨大的扰动。关于星球内部运动的问题还没有得到解决，可是要明白黑子的活动，这却是一个迫切需要解决的问题。

关于黑子和它们的 11 年周期，瑞典物理学家阿耳文和他的合作者曾经努力地去寻求

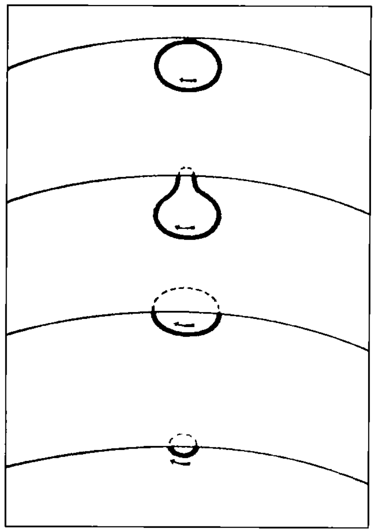


图 347　阿耳文的黑子理论

磁性流体动力旋涡到达太阳表面的情况，一个双极群的形成和演变。

过解释。他们的理论虽然还很幼稚，可是比起前人的看法显然是有进步的。他们假定太阳内部有一个大的磁场；在高温的中心，核反应进行的区域里，有极强的湍流运动；物质的运动引起磁场的变形，因而形成了磁性流体动力学的扰动，并传播到表面去。最简单而又最稳定的扰动便是磁性流体动力学的旋涡，这是一种环状的运动，在那里面物质和磁场都作闭合式的流动（图 346）。这样的环流（可以比作有经验的吸烟人口里吐出来的烟圈）沿着太阳的磁力线升到表面，被分割为两个圆圈，这便形成了一群成对的异极黑子（图 347）。这样，我们便可以解释一对黑子的磁极异性，以及在生存初期互相离开的现象。黑子的低温度将是磁场的附生现象，因为黑子里热能和磁能的总和应该等于正常光球里所有的纯粹热能。

邻近太阳的中心集体产生的一群磁性流体动力学扰动，沿不同的方向传达到太阳的表面，这些扰动传达到高纬度地方比传达到赤道带需要更少的时间。这样便可以解释在一个周期里为什么黑子先出现在高纬度区域，然后才逐渐向赤道带活动（斯珀雷尔定律）。

但是，由这种理论所推导出来的关于 11 年周期的解释是牵强、矛盾的。阿耳文假设在核心处有两个帽状区，它们是扰动生成的地方。如果有一种磁性流体动力学的变形产生在北边的帽里，就有两个波向外传播：一个向外直驱表面；另外一个是退缩波，向南去，到了第二个帽里，遭到扩大作用，再沿着它的道路达到表面。于是，同一种扰动产生两群黑子，一群在北半球，一群在南半球，时间相距约差 11 年，这段时间是退缩波穿过中心核层需要的时间。由于这个假设（还被别的更巧妙，或者太巧妙的假说加以补充），阿耳文可以解说太阳活动继续几个周期里的各种特性。当然，这个理论既不严格，也不像是真实的。我们之所以叙述一下，是因为它具有许多新颖可贵的看法，有助于对现象的进一步了解。这也说明科学家绝不在任何困难面前退缩的精神。太阳内部的结构，正如原子内部的结构一般，也属于我们研究的范围，虽然我们不能把实验室的方法应用到星球上去，不能把星球割裂开来看一看它里面究竟是怎样构造的。

## ◀ 太阳能量的来源 ▶

关于太阳的能量我们已经在第十八章里提供了一些数字。既知太阳的质量，我们便可以计算它每一克质量所产生的热量，答案是每年 1.5 卡。这数字初看不足为奇，可是一克氧和碳即使混合得很理想，燃烧后也只能发出 2 200 卡的热量。假使太阳像氧和碳那样在燃烧，用不了 1 500 年太阳就会被烧光。19 世纪的物理学家亥姆霍兹(Helmholtz)提出一种能量的来源，他说太阳的气体因收缩而生热。但是要使收缩所生的热足以维持太阳所发射的能量，收缩的速度应当是相当快，因此，在这种假说之下，太阳的寿命不过 2 000 万年。这是一个不能接收的数字，因为地质学家已在很科学的基础上面证明地球的年龄大约是 47 亿年。于是太阳能量的来源还应该继续去找寻。

19 世纪快结束的时候，贝克勒尔(Becquerel)发现了铀的放射性，继后居里(Curie)夫妇又发现了许多放射性物质，表明物质有一种释放能量的方式。爱因斯坦根据他的相对理论，给这种现象以一种数量的说明。他证明，物质蕴藏的能量等于它的质量乘以光速的平方，以公式表示便是：

$$E(\text{尔格}) = M(\text{克}) \times c^2(\text{厘米} / \text{秒})。$$

不论什么样的一克物质，只要能够完全被摧毁而变为能量，其所产生的热便有 20 万亿卡之多。如果有办法将物体质量的很少一部分转变为辐射或热量，其所产生的能量比任何化学反应还要有效得多。大自然就有这样一种办法，那就是核反应。

在第一篇叙述地球历史的那一节里，我们曾经谈到原子核的构造，现在再简略地回忆一下。自然界里有所谓放射性物质，如铀、镭等元素，它们的原子自发地发射氦核(α 射线)、电子(β 射线)和很硬的 X 射线(γ 射线)，这说明原子核不是简单的质点，而是有一种结构。自然，原子核愈重，这种结构愈是复杂。组成原子核的成分主要是质子和中子。这两种基本质点的质量很相近；质子也像电子那样负有电荷，不过电子是带负电的颗粒，质子是带正电的颗粒；中子不带电荷，正如它的名字所代表的，它是完全中性的。

**常见的基本质点**

| 名称 | 电荷 | 质量〔克〕 | 表现 |
|---|---|---|---|
| 电子 | — | $9.107 \times 10^{-28}$ | 很稳定，在原子的外层，由热体或光电层所发出 |
| 正电子 | + | — | 很不稳定 |
| 质子 | + | $1.6725 \times 10^{-24}$ | 稳定，氢的核 |
| 中子 | 0 | $1.6748 \times 10^{-24}$ | 稳定，核内的成分，促成铀的分裂 |

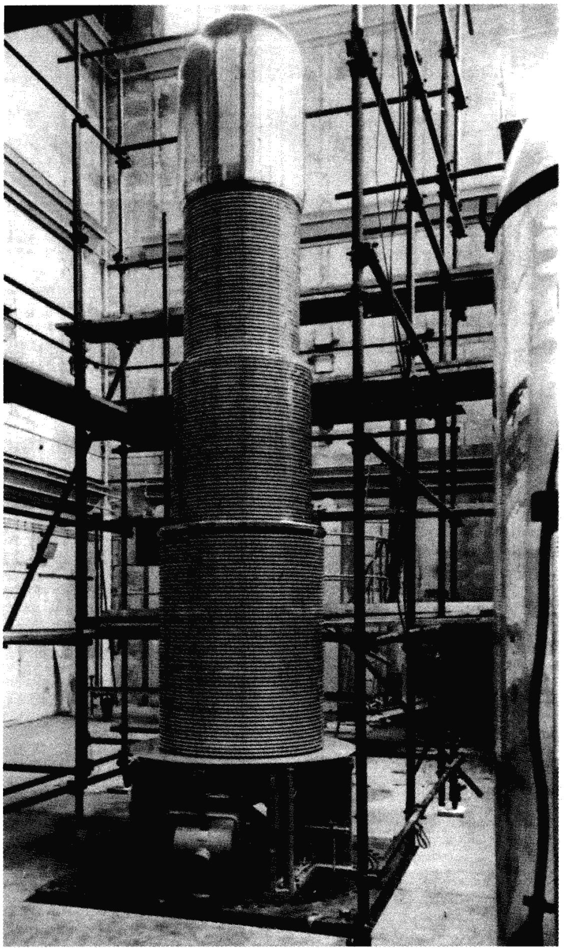


图 348　**范德格拉夫型的加速器**

法国萨克累原子研究中心的设备。物理学家为研究原子核常用具有高能量的粒子(电子、质子、氘核、氦核)去轰击原子核,核受了轰击以后常分裂为碎片,同时发出辐射;原子碎片的性质及使其崩溃所需的能量,是原子核物理所研究的问题。为了这种研究所用的仪器都是庞大的机器,目的在使这些"射弹"式的粒子加速。这仪器的一种便是范德格拉夫的静电发生器。离子或电子在那里被一个电场加速,这电场在地面和隔离柱上数米高的一个半球之间。这仪器经常被整个关在高压下的氮气箱里。这静电发生器自 1952 年开始使用,可以达到 500 万伏特的电压。一个电子在这电场内可以具有 500 万电子伏特的能量。

原子核首先被它所含的质子数所规定,这就是化学家所说的原子序数,再加上围绕原子核的相等数目的电子,便组成了原子。在核里,除质子之外,还有数目大约相等的中子。只是中子数目有差异的两个核的原子,叫做**同位素**。两种同位素的原子有相同的化学性质,因为它们外围的电子数目是相等的,只是它们的质量是不同的。例如寻常的氢原子有一个质子(核)和一个电子。但是还有另外一种氢原子,核内除质子之外还有一个中子,所以这样的氢原子的重量是寻常的氢原子的两倍,这叫做**重氢**(氘);重氢和氧化合,组成**重水**。氢和氘便是同位素。

关于在核内维持质子和中子在一起的内聚力,我们对此现在还不太清楚。我们已经知道,原子核不是由任意个质子和中子所构成的。结构比较复杂的核便不稳定,表现出天然放射性;这种现象表明,它们的核内有困难,必须得把一个成员驱逐出去。对于别的非放射性元素,要知道它们的原子核内有些什么,最好的方法便是把它们打破。核子物理学专家的活动便是对原子核作"活体解剖",他们所用的仪器巨大无比,读者们想必已经听说过"回旋加速器"这个名词(图 349、350)。

如果我们能够用各种质点轰击原子,使它粉碎成为较小的原子,我们便也可以组成较大的原子。有些核反应,一经开始便会继续下去,产生出巨大的能量。正是因为有了这些

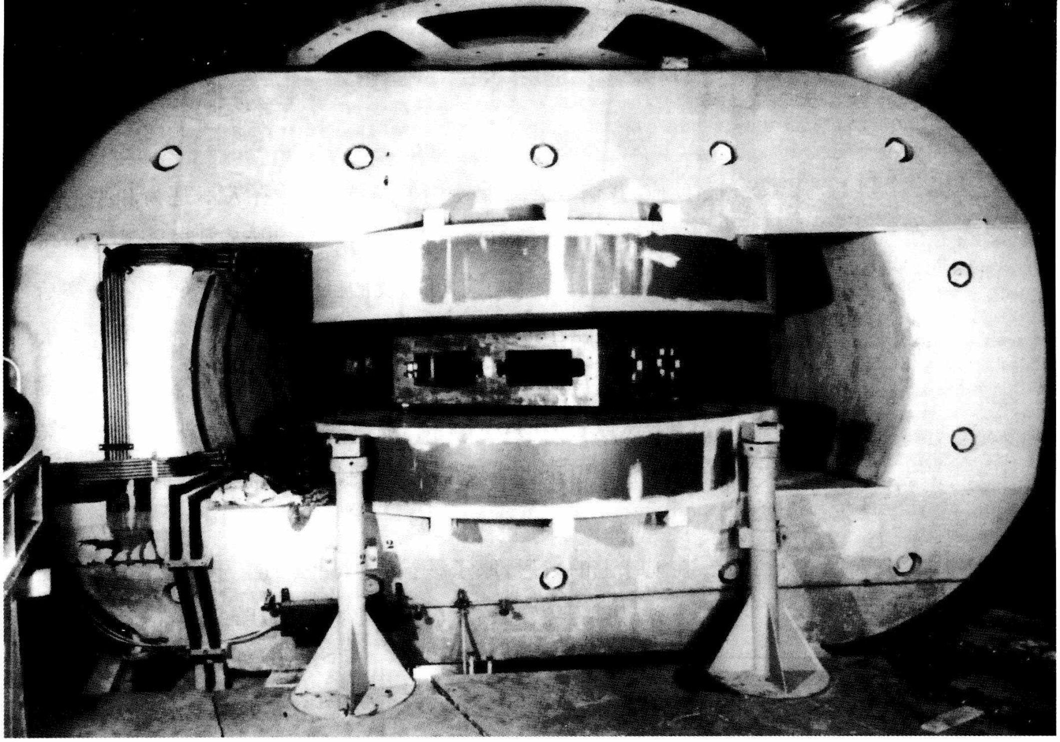


**图 349　萨克累中心新回旋加速器的电磁铁**

在这座仪器里，从适当源泉所发出的离子不像在范德格拉夫的仪器里受着连续的加速，但在两电极之间经过时得到加速。离子在一螺旋线里经过，在每一圈里都得到两电极间的加速，在电极之间有一个和离子旋转同步的交流电压。离子在每一转上得到一点能量，终于达到电磁场所造成的力场之外，于是它沿直线的路径飞去，好像石头从旋转的投石带里飞去一般，离子便这样去轰击它的目标。这仪器的大小可以表现在下列这些上面：电磁铁长 3.50 米，重 27 万千克，衔铁间的直径（也是离子出去以前所走的最大圆圈的直径）1.60 米，磁场强度 1.5 万高斯，交变电压 20 万伏特，频率 115 兆周。

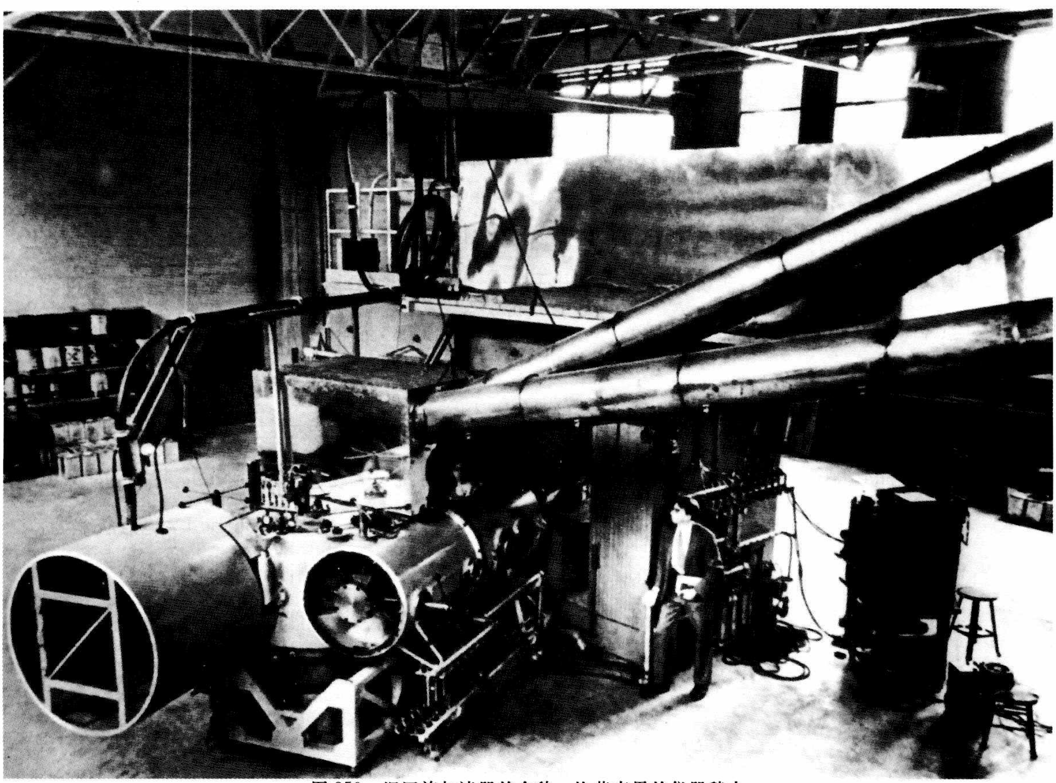


**图 350　旧回旋加速器的全貌，比萨克累的仪器稍小**

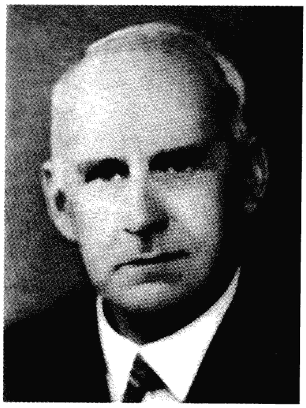


图 351 爱丁顿

反应，我们今天才能使用原子能，可惜有人不是为和平的目的而使用。像铀($U^{235}$)的分裂这一类用在原子堆或者原子弹上的反应，提供了不可思议的巨大能量。一克 $U^{235}$ 分裂后可以释放出 160 亿卡的热量。借这种反应生成热，以现今太阳的能量放射率而论，还可经历十几亿年。

从原子能的观点来看，显然我们会解决太阳和恒星的亮度问题。恒星里能量生成的机制很少可能是由于铀的分裂，很可能是最简单最常见的元素充当太阳中核反应的“燃料”。在地球上的情形，原子核被它们周围的电子壳层隔着，彼此分离，如果要激起核反应，必须使用有力的射弹，如电子、质子或中子，去加以轰击。可是在恒星内部，情形就大不相同了，那里很可能有许多反应自发地出现(图 352)。我们说过，在日冕里有 100 万摄氏度的高温，粒子间的碰撞可能剥夺掉金属原子的 9～14 个电子。在星球中心，在 2 000 万摄氏度的高温和出奇大的压力之下，没有原子能够再维持住一个电子。原子在这样永恒的凶猛碰撞里，已经失掉了小小的行星系的结构，核和电子都各自独立；首先失却电子壳层保障的原子核便可以自由地参加各种各样的原子核反应。我们所感兴趣的，只有那些以氢为首的最丰富的元素所释放出来的巨大能量。

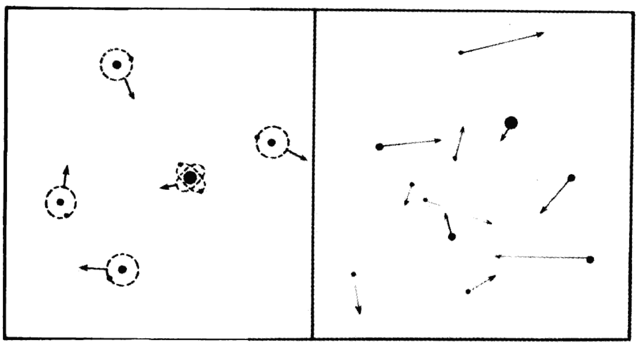


图 352 在冷的气体里(左图)物质以原子的形式出现，具有相当小的速度。图上绘了一个氦原子和四个氢原子。 右图：在很高的温度下，原子核和电子分离，彼此以高速度互相碰撞。 在这些情况下核反应才有可能

很久以来人们便注意到，如果我们能够把氢组合成氦，我们便可从参与这种变化的氢里得到由它的 0.008 的质量转变而来的能量。这可能是太阳和恒星能量的来源，因为我们说过，氢是它们的主要组成成分。1938 年，两位学者贝特(Bethe)和魏茨泽克(Weizsäcker)各自独立地提出氢转变为氦的机制。这种机制是相当复杂的，还有别的元素参加，特别是用碳来作媒介，以化学的术语来说，便是用碳来作催化剂。

这叫做**碳循环**，以公式表示如下：

(1) 碳$^{12}$＋质子＝氮$^{13}$＋能量；　　(4) 氮$^{14}$＋质子＝氧$^{15}$＋能量；
(2) 氮$^{13}$＝碳$^{13}$＋能量；　　(5) 氧$^{15}$＝氮$^{15}$＋能量；
(3) 碳$^{13}$＋质子＝氮$^{14}$＋能量；　　(6) 氮$^{15}$＋质子＝碳$^{12}$＋氦$^{4}$。

上列元素右角上的数字代表该元素的几种同位素的原子质量数。氮$^{13}$和氧$^{15}$都是放射元素，立刻便会分裂。这种核反应所生的能量为氢燃烧成为水汽所放出能量的 8 800 万倍。

读者在这种碳循环的复杂过程里，可以看见，最终的结果是将 4 个氢核变成 1 个氦核。量子理论证明，这种循环的进展随温度大有变化，只能在星球中心最热的区域发生。贝特考虑了恒星的各种模型，说明碳循环的一系列反应足以解释太阳和恒星发射能量的输出量，以后几年内，大家都承认这是恒星的能量的来源。于是天文学家才知道了太阳为什么会发光。

这种令人放心的情况没有经过很长的时间。因为有些巨星像是太冷，碳循环不能在它的里面发生，我们还应当去发现另外一种能量的来源。于是我们寻得**质子-质子反应**，即从两个氢核去形成一个氘核：

质子＋质子＝氘＋正电子。

要想说明这种反应在太阳里为什么不很活跃，只需要假设太阳比我们原先所认为的更冷一些(即不超过 2 000 万摄氏度)。

发现了产生能量的机制以后，我们便可以取消上面说过的关于恒星结构的一个不确定的观点。我们便可不用关于星球里能源分布的假设，而代之以核反应和温度之间的关系。为了使由恒星模型算出的结果和观测相符合，便应当为恒星假定一种合适的化学成分。换句话说，既知产生太阳能量的核反应，我们便可求得太阳里氢、氦和重元素的含量。下表是这些年来对这个问题研究的情况：

| 作者 | 氢 | 氦 | 其他元素 | 核反应 | 中心温度(摄氏) |
|---|---|---|---|---|---|
| 贝特(1939) | 35% | — | 65% | 碳循环 | 2 000 万度 |
| 布朗希等(1941) | 36% | — | 64% | 碳循环 | 2 500 万度 |
| 吏瓦西耳德(1946) | 47% | 41% | 12% | 碳循环 | 2 000 万度 |
| 凯勒(1948) | 67% | 29% | 4% | 碳循环 | 1 900 万度 |
| 爱泼斯坦(1951) | 82% | 17% | 1% | 碳循环和质子-质子反应 | 1 500 万度 |
| 爱泼斯坦(1953) | 99.8% | — | 0.2% | 质子-质子反应 | 1 200 万度 |

当然，我们不能设想碳循环和质子-质子两种反应便是一切可能的情形，可是能够选择的情形也是相当稀少的。必须注意的是，最近算出的太阳内部氢和别的元素含量，与对

太阳大气观测的结果是相合的：氢非常丰富，氦微量而较难确定，别的元素则稀少到可以略而不计。

太阳能量问题的圆满解决，这对于这颗既熟悉而又神秘的恒星的过去和将来的演化的了解，显然是很重要的。我们知道了碳循环和质子-质子反应还可以供给能量几百亿年。在此以后，太阳会依次利用产生能量较少的其他反应，于是慢慢冷却，成了一颗寒冷、死亡的星，如像我们从其微弱的红光或从其对明亮伴星所施的引力而发现的那些恒星一样。要对太阳的生命从诞生到死亡完整地加以讨论，需转到恒星天文学的范围里去，因为那里将要谈到正处在各种演化阶段里的各种各样的恒星。太阳生命目前的这一特殊历程，我们不能在这里断定它是诞生不久的或者是业已成熟的，而且我们最感兴趣的还有行星形成的问题。我们对于这个问题已经在第十五章里谈过一些，可是这个问题也只能慢慢地摆脱纯粹玄想的假设。

关于太阳物理的问题，我们就谈到这里为止。我们已经看到了一些美丽而宏伟的使天文学成为迷人的现象，以及许多物理学上的细致问题，但要解决它们，还需要长时期的努力。我们希望读者对我们这颗既熟悉又神秘的恒星有相当的认识。让我们引用波德莱尔(Baudelaire)的一首诗来作为本篇的结束：

你看早晨的太阳多么美丽，
正沿着山冈缓缓地升起。
请珍惜这美好的一天吧，
它从无限的光辉中向你致意。

# 第四篇 | 行星世界




**图 353　托勒密、哥白尼与第谷**

赫维留《天体机构》一书中的封面图(1679)。



图 354　卡西尼时代的巴黎天文台

# 第二十六章

# 视运动与真运动

在夏季晴朗、静寂的黑夜里，设想我们在乡间空旷的地方，但见成千的星星在天空上闪烁。我们以为，头上繁星多至不可数计，其实在地平线上面一时所能看见的星，为数不过 3 000 而已。这些明暗不同的星星常维持一定的相对位置，造成了特殊的形象，人们把这些形象叫做星座。例如大熊座内七星〔即我国人民熟悉的北斗七星。——译者注〕，几千年来总是保持我们今天所看见的那个三马拉车的形象；又如仙后座内六星，描出了一把绕北极旋转的椅子，或者伸开两腿的 M 字母；其他如大角，织女、河鼓（牛郎）等明星，标示出牧夫、天琴、天鹰等星座。最早的观天者就注意到天穹上这些发光点的固定性，用想象的线条连接起主要的恒星，便描绘出意想中的形态，于是静寂的天空里便充满了虚构的人物。

如果我们时常观察繁星密布的天空，我们就很容易辨认出这些星座，而且能够说出其

中主要恒星的名字。以后谈到恒星世界的时候，我们还要详细叙述星座。现在，我们还没有离开太阳系的世界。有时仰望天空，我们会在熟悉的区域里发现一颗一向未曾遇见的明星。这颗新来的星也许比任何别的星还亮，甚至超过天穹上最亮的天狼星；同时我们也容易察觉，它的光线虽然强些，却比较稳定，而且并不闪烁。如果我们再留心记下它和邻近恒星的相对位置，观察几个星期以后，便会看出，它不像别的星那样固定，而是在或快或慢地改变它的位置。

这是初期的观天者——迦勒底的牧羊人和古埃及的游牧人——在天文学的初期便注意到的现象。这些时现时隐在天球上移动的星叫做行星。这个词在西文中的含义是流浪者。根据字源可知，这是由于这类星的动态给予观察者的印象而取的名字。

可是我们的祖先却没有想到，这些在星星之间流浪的光点自身并没有光辉，它们像地球一样暗黑、一样大小，而且其中还有比我们的世界更大更重的；它们都像地球和月亮一样，是被太阳照亮的，它们远比恒星更接近我们；它们和地球同以太阳为中心组成一个家族……是的，这些明亮的光点，例如木星，像恒星那样在发光，可是它自己并没有光，就像地球一样，它是被太阳照亮了的；地球也反射太阳照在它上面的光，因此在远处望去，它也是光明的，也成了一个光点。我们可以做一个实验。在一间漆黑不透光的房间里，铺上一张黑布，布上放上一块石头，在房壁上打开一个小孔，透进日光，并且使日光射在那块石头上，你便可以看见那块石头像月亮或者木星那样在发光。行星和地球一样，都是黑暗的土地，它们只反射从太阳那里接收的光，使日光漫射到空间中去。

如果我们通过望远镜去看恒星，虽觉得它比肉眼看去要亮些，但未必大些；可是行星就不相同，在望远镜里它的像是被扩大了，而且目镜的放大率愈高，行星愈显得大。因为行星是比较接近我们的，恒星却离我们非常遥远，即便使它们和我们接近一两千倍，也不会有什么作用。

对于行星的观测，最足以引人注目的便是它们的运动，或者说，它们对于固定恒星的位移。如果追随某一颗行星一些时候，你便会发觉它有时向东方移动，有时又作短暂的停留，然后又向西方移动，再作短暂的停留，接着又再像以前那样运动。试看一看金星，西方人叫做牧人的星〔金星在我国，晨见东方叫做启明，晚见西方叫做长庚，又名太白或称明星。——译者注〕。在某一个晴朗的傍晚，它出现在西方的昏光里，它愈来愈远地离开了落日，在天空中愈来愈高，在太阳落下以后两小时、两小时半以至三小时多才落下去；跟着它又慢慢地和太阳接近，终于沉没在日光里。可是再过几个星期，这颗明亮的行星早上却在太阳的前面东升，在黎明的曙光里放出光辉。至于水星，总是在太阳的光辉里，很难脱离；你刚刚有两

三个夜晚看见它,它又回到太阳的光辉里去了。正好与此相反的是,如果你观测的对象是土星,即使经过了几个月,它在天穹上也只缓缓地移动很少的位置。行星的运动和光辉,使人对给予它流浪者的名称附以各种想象,认为它具有无限力量,象征为某些神灵。金星发出雪白耀眼的光芒,无上美丽,成为众星中的女王;木星(众神的父亲)仪态万方,好像在12年的周期里登上帝王的宝座一样;火星发红光,代表战神;土星是古人知道的行动最慢的行星,象征时间和命运;水星(众神的使者,商人和小偷的神)动作敏捷,光辉灿烂,今天跟在阿波罗太阳神的后面,明天又会在他前面升起。人们根据各个行星所代表的神,给予它们不同的性格、权力和称号。许多世纪以来,人们总把它们当做神灵来崇拜。

起初,这些行星按它们运动的快慢而被分类。我们注意观察一下,它们好像围绕我们由西向东在运行,但有时又往后退。如果假设走得慢、周期长的行星距离要远一些,那么我们便可以按照速度的快慢来分类了。4 000 年以前,人们便列出了下面这一张表:

| 行星 | 环绕我们运行的周期 | 行星 | 环绕我们运行的周期 |
|---|---|---|---|
| 土星 | 30 年 | 太阳 | 1 年 |
| 木星 | 12 年 | 金星与水星 | 1 年 |
| 火星 | 2 年 | 月亮 | 1 月 |

当然,这张表内的数字是很粗略的。水星和金星的运动是很难观察到的。因为古人总把地球当做不动的中心,所有的星辰都围绕着地球在运转,而事实上却不是这样的,因此我们就不能既简单而又确切地去说明行星的运动。我们在本书开始时说过,阿利斯塔克和一些古代的哲人曾经把太阳当做宇宙的中心,认为地球和行星环绕着它运行。但是在公元开始的那个时代,亚历山大学派建立了地心系的理论,这种理论被记载在托勒密于130 年间所写的《伟大论》那一本书里。在文艺复兴时期以前,这本书一直被人奉为天文学的经典〔这本书原名《数学综合论》,是现今还保存的最古老的天文著作。自印刷术发明以后,这本书已经有了一些翻译版本。很少有人知道这本书的真名,大家总喜欢拿阿拉伯人用以称赞它的名字《伟大论》去叫它。这本书过去在我国的书籍中一般被译为《天文集》。——译者注〕。在这以前两个世纪,罗马文学家西塞罗曾经在他的作品《西庇阿的梦》里描绘了他那个时候人们所相信的宇宙观:

“宇宙是九重天,或者说由九个运转着的球所组成的。外面一重球叫做天球,它包含其他几重球,上面钉着所有的恒星。下面有七重球,都以和天球相反的方向在运动。按照行星在这些球上运行的次序说来,第一重球是土星,第二重球是赐予人恩惠的木星,再次是可怕的红色火星;这下面便是太阳,他是君王,是统治群星的主宰,是世界的灵魂,它用它那巨大明亮的球体,以光辉充满宇宙。在太阳以下有一对伴侣,即金星和水星。最低的

一重球才是月亮，它的光是从太阳借来的(图 355)。在这最低一重天下面，生息着将要死亡腐朽的众生，但慈悲的神给予众生的灵魂却是永恒的。月亮上面的一切皆是永恒的。我们的地球位于宇宙的中心，远离诸天，静止不动；一切有重量的物体都被牵引向地上来……

"这些天上的星球距离虽不相等，但却按着适当的比例排列，所以它们运转得很和谐，发出高低的音调，奏出悦耳的乐曲。这样巨大的运动绝不会是静寂无声的，低音调是在下面缓行的月球轨道上演奏的，高音调便由上面运行迅速的恒星苍穹去演奏。在这八音的两极限里，八个运动的星球发出七个不同的音，这个数目便是一切事物的准则。凡人的耳里都充满着这种和谐的音调，但却意识不到；这正好像居住在尼罗河大瀑布附近的民族失却了听觉一样。宇宙在运行中所奏出的乐曲是那样的巨大，以至震聋了人们的耳鼓，正如金光四射的太阳光辉使你的眼睛昏眩，以致瞎盲了一样……"

日、月和五个行星所占的七重天之外，便是恒星所形成的第八重天。还有第九重天，

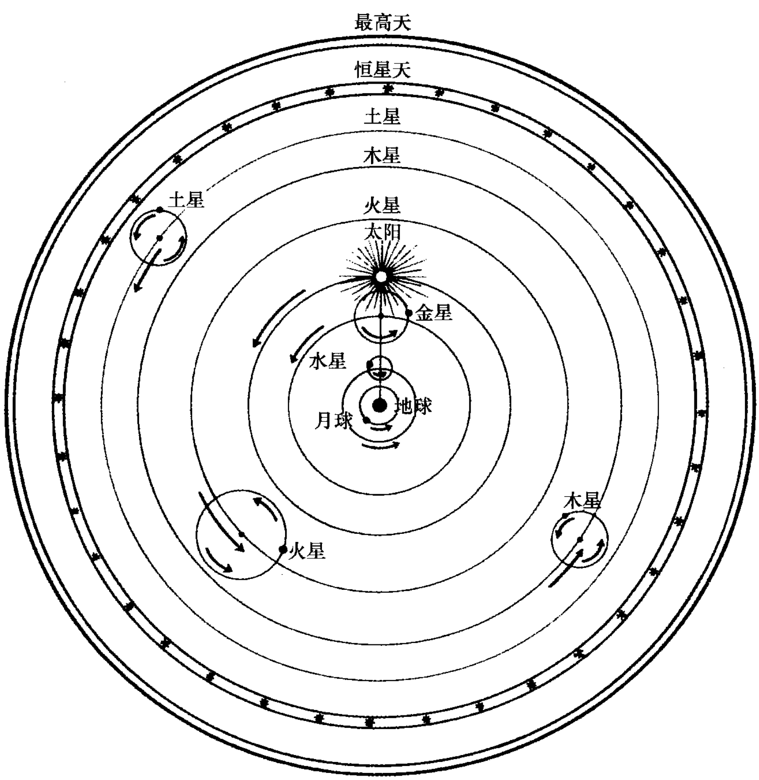



图 355　托勒密的地心系

叫做最高天(Empyrée)，中世纪的人以为那是神灵和幸福者居住的所在。在一般人甚至在许多哲学家看来，这一切结构都是由晶体所构成的。有一些智慧优越的哲学家，例如柏拉图，便不相信诸重天有固体性；可是大多数学者都以为，如果不把诸天假设为是由透明的固体质料所构成的，那么星球的运动便不能想象了。罗马的大建筑学家维特鲁威(Vitruve)说，地球的自转轴穿过南北两极，延长到天穹。还有一些作者以为，远离太阳的行星运动之所以比较迟缓，是因为这些行星我们看得不太清楚。环绕我们运行的这种行星系统，看来好像是很简单的。但是，我们接着就会了解这种简单性仅仅是表面的，要想把由观测得来的运动作详尽的解释，便需要将原始的图案加以修改和补充。下面所说的便是托勒密《伟大论》里修改的主要之点。

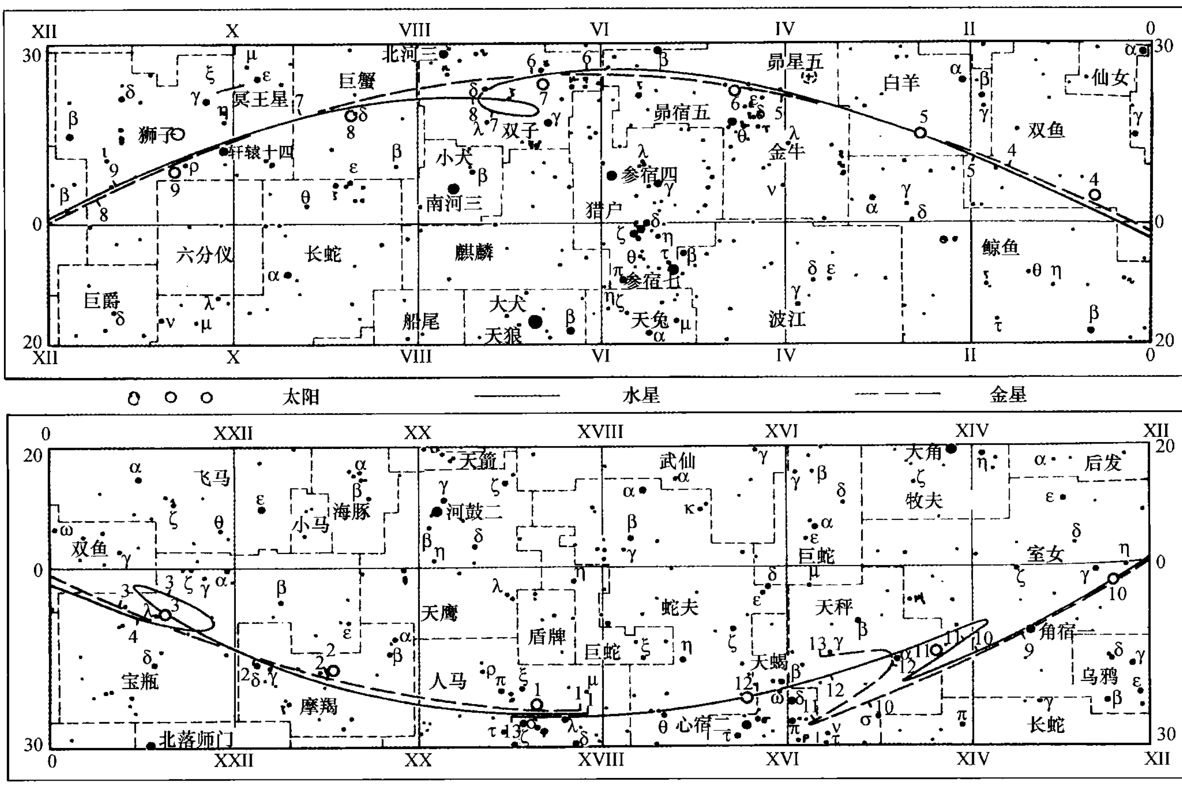



图 356　1954 年水、金两行星的视运动(水星轨道以实线表示，金星轨道以虚线表示)

行星在每月初的位置则以短线表示。星图边框中上下两边的罗马字代表赤经度数；左右两边的阿拉伯数字代表赤纬度数，上正下负。后边的星图同此。

假设所有的行星都沿简单的圆周轨道环绕着地球运行，我们就会看见它们总是向一个方向在运行。事实上却不是这样的。一般说来它们总是由西向东穿越黄道星座在前进，可是有些时候我们却看见它们向后退，即由东向西地逆行。逆行时期的长短，依我们所观测的行星而有差异，而且过了相当时期，它们又会顺行（图 356 表示 1954 年内水星和金星的运动）。

行星所共有的这种视行的特点，使得古代天文学家感到非常难于理解。亚里士多德和别的许多哲学家一样，以为圆是最完美的几何图形，天体是神圣不朽的结构，自然只能做等速圆周运动。但是怎么样把这个神圣的原则和逆行的运动调和起来呢？

可是在哥白尼的系统里，逆行只是地球和行星绕太阳公转所综合而成的自然结果。以后我们就会明白，这只需假设行星（包括地球）公转的速度离太阳愈远则愈小，便可以说明了。事实上确实是这样的，因为行星的恒星周期比它与太阳的距离还要增长得更快。

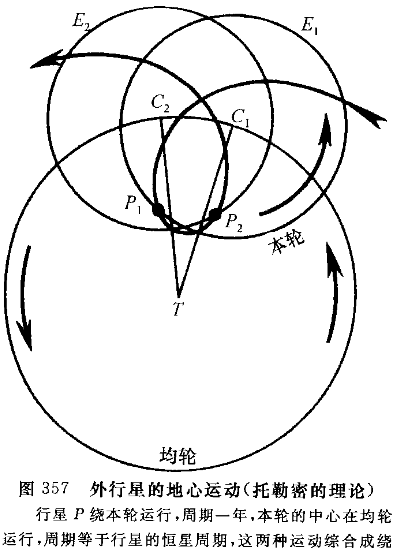



**图 357　外行星的地心运动（托勒密的理论）**

行星 $P$ 绕本轮运行，周期一年，本轮的中心在均轮上运行，周期等于行星的恒星周期，这两种运动综合成绕地心的环圈式的轨道。

以火星为例。根据哥白尼的研究，火星到太阳的距离是地球到太阳距离的 1.5 倍，所以火星的轨道在地球轨道的外面，需要 1 年零 10 个月的时间才绕一周。平均每隔 2 年零 2 个月火星才会和地球接近一次，那时它距离地球只有 7 500 万千米（为简便起见我们暂且不谈轨道的偏心率）。可是当地球和火星正对着分别在太阳的两面时，它们之间的距离平均为 3.75 亿千米。古人还不能够测出距离上的这种变化，只是在运行时行星光亮的变化向他们表示距离是有变化的。为了解释逆行和亮度的变化这两件事实，古人便想到本轮的理论，这也就是托勒密所采取的学说。行星并不在以地为中心的大圆（叫做均轮）上运行，而是在一个以均轮上一点 $C$ 为中心的小圆（叫做本轮）上运行（图 357）。行星在本轮上 1 年走一周，而本轮的中心走过均轮一周所需的时间等于该行星的恒星周期；在火星的情形便是 1 年零 10 个月。在这种假设下，我们容易证明地球和火星间的距离有相当大的变化。在最短的距离处行星是逆行的，这只需要假设它在本轮上的速度比 $C$ 点在均轮上运行的速度大些便可以，这里的情况便是这样。

由此可见，我们刚才互相比较过的托勒密体系和哥白尼体系都可以说明行星的地心

运动，换句话说即我们从地球上看出来的行星运动(图 358)。在这两个情形之下，地心运动都是两个圆运动合成的结果，在黄道平面上作出一条调和的曲线。图 359 内所表示的一条曲线便代表 1954 年火星的地心运动。地球在图的中心。火星环绕地球所走的轨道是耳环状的。行星和我们之间的距离与日地之间的距离相比，有时近些，有时远些；图上标明了太阳在每个月的位置。行星和我们最接近的时候是逆行的，那时它在正对着地球的环圈的凸面上。

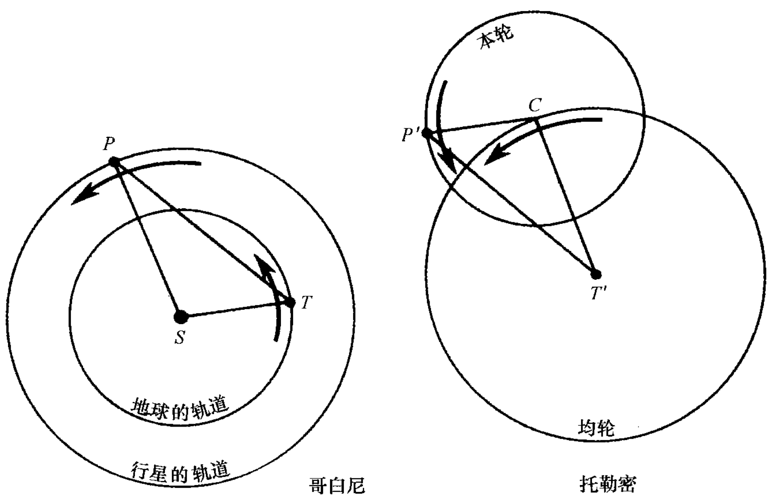



**图 358　外行星在哥白尼和托勒密两种体系里运动的比较**

$P'$对于$T'$的运动和 $P$ 对于 $T$ 的运动相同，只需假设 $T'C$ 和 $SP$ 平行而且相等，又 $CP'$和 $TS$ 平行而且相等，因为这样 $T'P'$便和 $TP$ 平行而且相等。

水星和金星给古代人以另外一个更困难的问题，他们还必须说明为什么这两颗行星老是在太阳的附近，而且只是在黎明或者黄昏才能被看见，绝没有在半夜被人看见过。托勒密以为它们的本轮的中心总是在连接日地的直线上面(图 355)，这样显然渗入了日心系的说法，可是古代人偏要用它去维持地心的理论。

这里有一点却和外行星的情形相反，均轮上的运动 1 年一周，而行星在本轮上的周期却等于它的恒星周期。这样，地心系的理论便失掉了统一性〔托勒密是不是曾经假设水、金两星的轨道在地球和太阳之间呢？他知道，如果他把均轮的半径作为 1，水星和金星本轮的半径将分别为 0.38 和 0.72，这两个数字是可由远距离的观测而求得。如果我们要绘一张图使金星的本轮在水星的本轮和太阳的轨道之间，而又不违背上面那个比例，我们便会发觉，水星应放在和地球很接近之处。如果我们把太阳放在这两个本轮的中心，这困难便立刻消失。古代埃及的天文学家已经看出这一点，作出过这样的建议。如果我们遵照均轮和本轮之间的大小比例，去描绘托勒密体系的图形，这还不算是唯一的困难。因为古人没有给轨道的直径以一定的数值，他们可以自由地去选定，于是这图上的圆圈便成了混淆不清的情

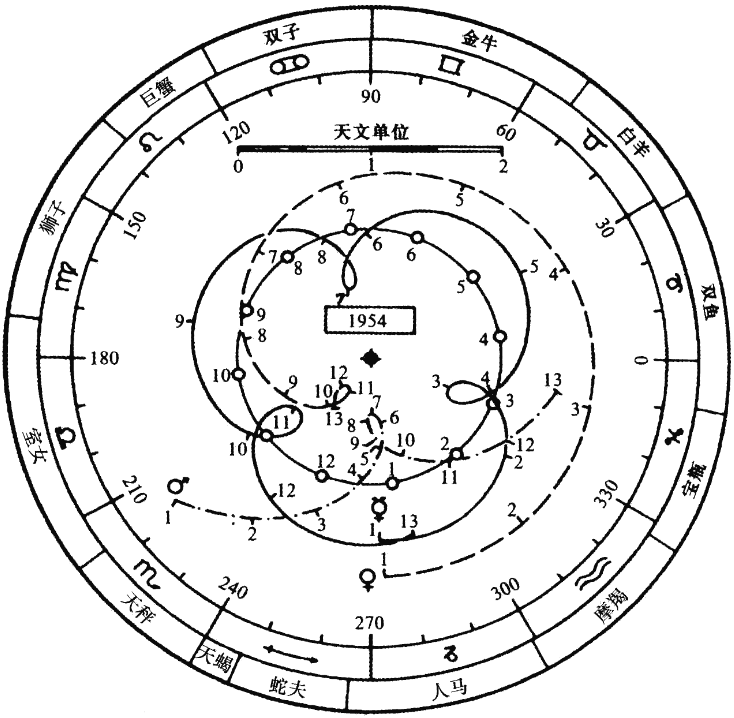


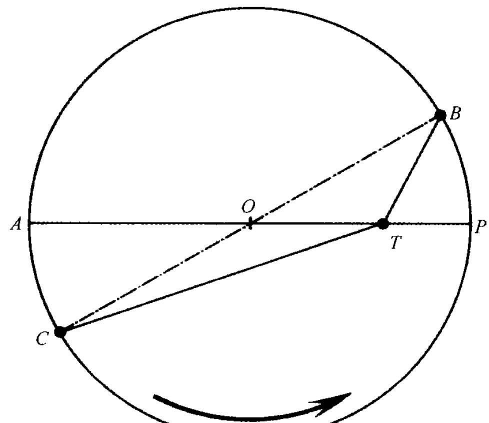

图 359 太阳和水、金、火三行星的地心运动，自 1954 年 1 月 1 日至 1955 年 1 月 1 日

地球在图的中心，每月初太阳的位置以一个小圆圈来表示，并附以月的序数。环圈状的曲线是水星（实线）、金星（虚线）和火星（点线）的地心轨道。

况。例如，火星的本轮和太阳的轨道应该有等长的直径。事实上，托勒密应该使每颗行星的均轮和哥白尼体系下的轨道一样大，同时使它们的本轮和地球的轨道一样大，至少外行星的情形应该是这样的〕。

由此可见，主张地球绝对固定不动的人所具有的巨大的矛盾和问题是多么复杂！在这样的体系下，有多少行星便该有多少轨道（均轮）和本轮。哥白尼把地球只当做是一颗行星，一颗并没有什么特权的行星，使地球回到它真正的位置上去，于是太阳系便呈现简单而可爱的面貌，仅改变这一点，地球的轨道便代替了一切无用的本轮。

但是我们还没有说完托勒密体系的矛盾之点。他们不但需要解释行星的逆行和离地远近的变化，而且还需说明行星运动上所表现的一些差数，例如由我们曾经谈过的开普勒的前两个定律所表现出来的差数。我们现在知道行星的轨道不是圆形的，而是椭圆形的，太阳在椭圆的一个焦点上。向径的长度，即行星和太阳之间的距离，在公转里随时在变化。根据面积定律，向径愈短的时候，它围绕着太阳运转得愈快。这一切在本书第三篇开始就说得很详细了。



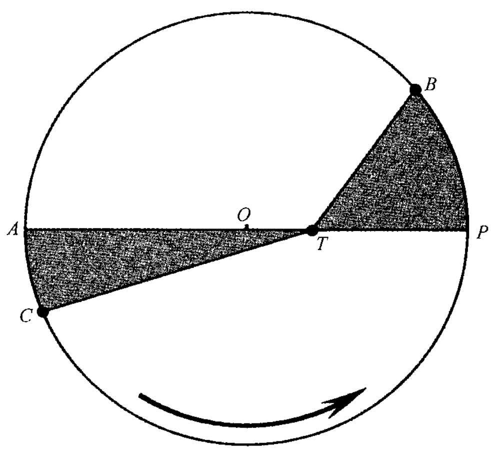




**图 360　太阳的偏心点**

根据托勒密的理论，太阳所走的轨道是对于地球的偏心圆（上图）；又因假设轨道上的速度是常数，于是偏心度 $OT$ 便应该是开普勒轨道（下图）真实情况的 2 倍。

古代人不知道行星的轨道是椭圆的，只假设它们是圆形的，所以他们也假定太阳环绕地球走一个圆周。但是观测向他们表明，太阳的视运动绝不是均匀的，因为四季的长短就不是相等的。他们和我们一样，计算出在一年的某些时间里太阳到黄道上的某一点有或迟或早约 2 日的差异。至于行星所呈现的差数，更是显著。例如火星达到轨道上的某一点可以延迟或提早 20 余日。这又和亚里士多德的"月球上面的世界只有等速圆运动"的原则发生了一个新的大矛盾。

托勒密借偏心点去转移这个困难（图 360）。要把这种偏心的理论详细地加以解说会使人讨厌的，我们只谈谈它用于太阳的情形。据托勒密说，太阳以不变的速度在圆周上运动〔托勒密在这一点上犯了双重错误，因为地球走的轨道不是圆而是椭圆，同时轨道上的向速度也不是不变的。为了消除第二种误差所产生的效果，托勒密将轨道的偏心率由今天公认的 1/60 增加到 1/30。在这一点上哥白尼还是承袭了托勒密。开普勒开始研究时也是这样的，但是不久，他就看出了误差，而加以纠正了。以后，他认识了火星的轨道是椭圆的，他更进一步把这种结果推广到包括地球在内的一切行星。托勒密对于外行星轨道的偏心率知道得比较清楚，他确定火星的偏心率是 0.10（现今值是 0.093），木星的是 0.046（现今值是 0.048），土星的是 0.057（现今值是 0.056）。在这样的情况下，他自然不能假想轨道上的速度是常数，他于是不得不寄希望于另外一个假设，这便是他的等距偏心论。在偏心率小的情况下，这种理论和面积定律是很接近的（图 361）。行星围绕地球走一个偏心的圆周，它的角速度是一定的，但不是围绕圆心 $O$，而是围绕相对于 $O$ 点和 $T$ 点对称的 $T'$ 点。在相等的时间里行星所绕过的弧 $PB$ 和 $AC$ 长度并不相等，角 $PTB$ 和角 $ATC$ 也不相等（和图 360 中单一偏心率加以比较）。在单一偏心论里，我们把 $O$ 点叫做等值点。在等距偏心论里，这一点却是 $T'$ 点：因为在这两种情况下，行星绕这一点的角速度都假设是均

匀的。在开普勒的椭圆内就没有这样的等值点，因为运动是被面积定律所规定了的，但是在偏心率很小的情形之下，围绕椭圆的第二焦点 $T'$ 的第二向径的角运动差不多是等速的]，可是地球没有恰恰放在圆的中心，它是偏心的，因此这一类的轨道有偏心轨道的名称。在这种假设下，太阳在一个月内所走的孤 $PB$ 和孤 $AC$ 的长度是相等的，但是地球上的观测者所看见的弧所对着的角 $PTB$ 和角 $ATC$ 却不是相等的。根据托勒密所假想的轨道的偏心率，足以说明四季长短的不相同，可是这样便必须使轨道的偏心率是它的真正数值的 2 倍。

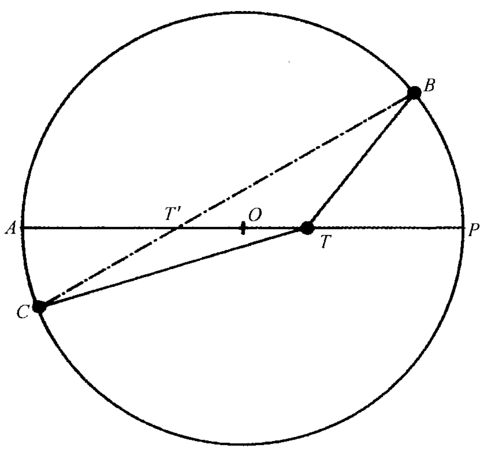



图 361　等距偏心点

根据托勒密的理论，金、火、木、土四行星在偏心的圆周轨道上运行，行星在轨道上的速度是使它绕 $T'$ 点的角运动为均等的。$T'$ 点叫做等距偏心点，是以 $O$ 为中心 $T$ 的对称点。如弧 $PB$ 和弧 $AC$ 那样的弧，据假设是在等时间里扫过的，由此可见 $T$ 和 $T'$ 即开普勒椭圆的两个焦点。

火星轨道的偏心率显然比地球轨道的偏心率要大一些。可以表示太阳运动的单一偏心论，对于火星的情形却太粗略了。对于火、木、土三颗行星，托勒密又想出等距偏心论（图 361），对于金星，特别是对于水星，更需要附加上复杂的条件。在这一点上，哥白尼承袭了托勒密，但是开普勒根据他老师第谷的精确观测，发现了行星轨道的真相，于是天文学才完全摆脱了偏心的理论。这是给亚里士多德主义的一个致命的打击。

可是我们不要太看轻了这些古代的大天文学家和大哲学家，他们首先测定了这些星的位置，研究了它们的运动，他们所使用的仪器虽然很粗糙，但他们却是大胆地向前探索。他们是计量科学的真正创始人，他们不满意于语言，而要去追求数字。无疑，他们对于宇宙的见解远远不如我们今天这样完善，但是他们的理论建筑在观测之上，所以比起原始民族的神话和迷信来说显然是有很大的进步了。那时还没有一个人环游过地球，可是他们已经说地是一个圆球，无依靠地立在空间。他们摆脱了局部的外貌，把眼光放在日常的经验以外，创立了系统的普遍理论。无疑，我们很惋惜像亚里士多德这样一个权威的学者，竟宁肯取托勒密的体系，而放弃阿利斯塔克的体系。阿利斯塔克在哥白尼以前 18 个世纪便已经把太阳肯定为世界的中心了。即使在近代，亚里士多德学派的权威还使哥白尼的学说延迟了一个世纪才得到人们的承认。在 17 世纪的时候，大学里所讲授的还不是地心论吗？亚历山大大学里那些天才的学者们，勇敢地超越了那个时代的见解，摆脱了原始的精灵主义和神话体系，把宇宙当做是一个巨大的几何学和机械学的问题来研究，我

们对于这些人岂不是应该表示钦佩吗？在近代，同情日心论的人对于托勒密和他的反对者有一种持平的论调。这争论在今天已经停止，我们可以心平气和地谈到他们，歌颂他们伟大的功绩。

明白了这个以后，我们应该承认，他们的工作只不过是建立了很不完善的宇宙体系的一个开端。但是，在科学的黎明时期，这种体系能够一下子就完善吗？我们应该惊异的，倒是他们的体系在以后传授了十几个世纪而没有人敢作出重要的修改，多少代的教授们和学生们都恭顺地接受了它。只有极少数有智慧、能够独立思考的人，才感觉到这种理论的矛盾，但是经院派的哲学家们在辩论里所持的理由是奇特的。伽利略在他的《对话集》里举出一位名叫里希奥利的人来代表这些哲学家们发言。有人会对这种宇宙体系提出以下的问题："数以万计的星星一致围绕着我们运行，可是它们都是各不相谋的单体，这岂不是难于想象吗？为什么它们所做的周日运动严格地和距离成正比呢？太阳比地球大了许多倍，岂不显然应该是地球绕太阳运行吗？……"可是里希奥利却回答道："星星里有神灵，天上的运动愈难了解，愈表现上帝的伟大；人比太阳更为尊贵，万物为人而创造，天上的星星自然围绕着人而运行……"

这样的理由在今天看来实在不值一驳。可是在当时，这种说法却阻碍了自由思想，培养了赞美这个体系的习惯，虽然这种理论异常的牵强，缺点重重，却仍旧在大学里传授了很长的年代。一直到了十五六世纪，才有人开始用实验的方法，才有独立思考的学者起来消除了偏见与成见，自由地寻求真理。

人类历史的一些最大的事件就发生在那个时代。自由争论的流行、艺术的高度发展、对宇宙体系的认识，这一切都随着哥伦布、达·伽马和麦哲伦等人伟大的航海事业而到来。1543年，哥白尼的《天体运行论》出版，建立了近代天文学；同时韦扎耳(Vésale)的《人体构造论》出版，奠定了人体生理学。因科学的注视，地球露出了它真实的面貌。人们凭借实验，可以直接证明地球是球形的，并且独立在空间，于是便为了解它的运动做好了准备工作。

刚才说过，4个世纪以前(1500—1600)，在法国皇帝弗朗西斯一世至亨利四世的时代，天动地静的理论还在流行，甚至18世纪路易十四、路易十五的时代，还有人在这样讲授，距离现在真不太远。可是直到1687年牛顿的大作问世，给哥白尼的理论以确定的认识，地心系的理论才被完全摧毁。

地球有自转和公转两种运动，在今天已是家喻户晓了，可是在当时，却是一个大胆的看法，经过了斗争才终于获得了胜利。哥白尼的工作，因知识的进步，在一些细节上受到了修改。从这位伟大的天文学家的书中，我们翻印了一幅图在这里(图362)，从中便可以

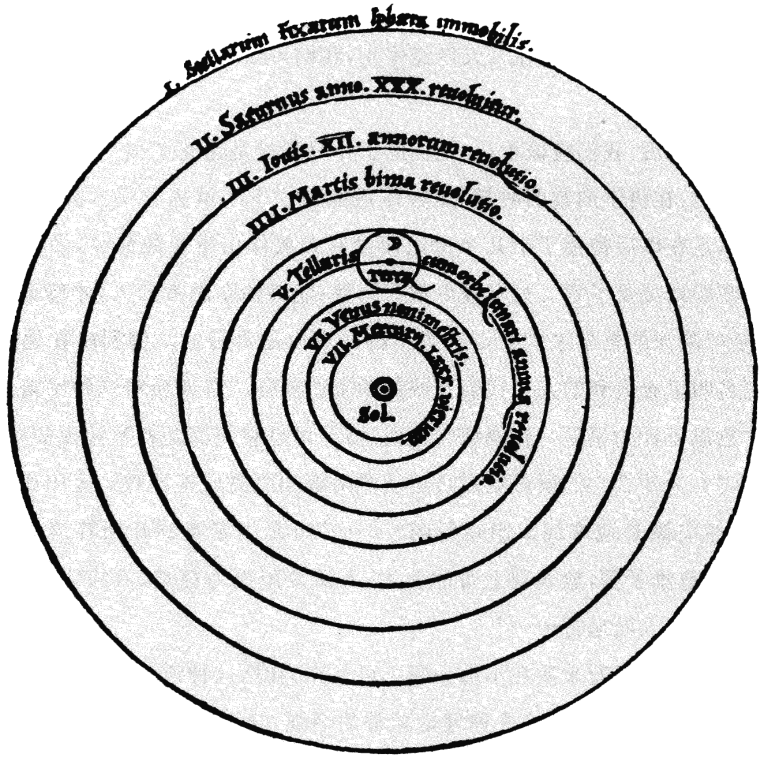



**图 362　哥白尼的体系**

1543 年在纽伦堡刊印的原版。

看出一些缺点：水星和金星的公转周期是 80 天和 9 个月，而不是 88 天和 225 天。恒星距离地球并不太远，好像它们还像行星那样被太阳照着；太阳好像居在整个宇宙的中心，这样便过于尊重了太阳。可是，好像哥白尼很明白恒星的周年视差是很小的。我们不应该责备他为什么不把土星以外的行星、小行星以及月亮以外的一切卫星通通都绘上，因为这些星都是在望远镜发明以后才被发现的。但是他的图上并没有表示出行星轨道的相对大小，而这一点却是他已经测定了的。这些测定便是这种新体系的一个显著的成果，就此一点，就足以使人立刻承认这种体系。对于内行星，哥白尼测量了它们对于太阳的大距；对于外行星，他测量了它们的方照时刻和所在的黄经度（参看图 369、370）。对于这些数字，托勒密因为不明白它们的物理意义，只得出一些抽象的结论，而在哥白尼的体系里，却得出行星和太阳之间的距离〔哥白尼没有把外行星的距离表示成天文单位，他只列出日地距离与太阳和行星之间的距离之比。当然，我们容易由此算出行星的距离，列入下表中〕。下表是在《天体运行论》一书里所举出的数字：

| 行星 | 哥白尼的数值 | 现今公认的数值 |
| --- | --- | --- |
| 水星 | 0.386 | 0.387 |
| 金星 | 0.719 | 0.723 |
| 火星 | 1.520 | 1.524 |
| 木星 | 5.219 | 5.203 |
| 土星 | 9.174 | 9.555 |

单位是日地间的平均距离(天文单位)

可是,这位波兰天文学家(指哥白尼)却是无根据地给予地球另外一种运动,目的是为了保持地球自转轴的平行性,好像地球绕日公转会破坏了这种平行性似的。这种奇怪的想法真使我们惊异。

在《天体运行论》1617年版本中,第一页上有一幅很奇怪的图画(图363),图中一杆天平在称量天与地,天这一面占了优胜,地已经早被人驱逐出它所僭越的位置了。




图363　天胜过地
哥白尼著作的封面图,1617年阿姆斯特丹版本。

用地转的理论去说明天的运动的第一个人绝不是哥白尼。这位不朽的天文学家曾经引用了古代有这种意念的许多学者姓名,例如西塞罗(Cicero)、希色达(Hicétas)、普卢塔克、菲洛劳斯、赫拉克利德、埃斯方特、卡佩拉(Capella)等古希腊罗马的哲学家,以及主张水星、金星绕日运动的古埃及学者等等。哥白尼没有提到他的最伟大的先驱者阿利斯塔克。甚至在哥白尼的大作刊布的100年前,即在1444年,德·曲萨主教还提倡过对地球的运动和众多的世界的看法。

哥白尼不像他以前的人那样,只把这种见解当做是一种假设。他想要从研究里去加以证明,这便是他伟大的地方。一种信仰的真正先知者,一种主义的传播者,一种理论的创作者,应当是一个实践的人,他要能用自己的工作来证明这个理论,使人遵从这种信仰,接受这种主义。他可能不是一个创造者,古语说得好:"日下无新事。"伟大的事业从一个萌芽状态诞生,不知不觉地成长起来。观念愈来愈会扩大,科学是互相帮助的。很多人感觉到了一个真理,同情一个意见,接触到一个发明,但自己却不知道。时机一到,一位有综合头脑的人便会感觉到一个成熟的意念已经具体化了,对于这个意念,他热情地去珍重它、培养它、考虑它。它愈经研究便愈见扩大,于是,在它周围有许多的因素来支持它。这



图 364　第谷(1546—1601)

个意念在这个人身上便成了一种主义或者学说。于是,像宣传福音的使徒一样,他宣扬他所认识的真理,即由自己的工作证明了的学说。大家一致把他当做是自然规律的发现者,虽然大家也都知道,这个意念并不是他创造的,在他以前已经有很多人都预先感觉到了。

由于自己的工作,将一种科学的或哲学的理论建成自己的理论体系的人,是不会想到自己的光荣的,他会说出他工作的根源,也会很自然地举出他的先驱者的姓名,以及举出那些因没有人注意而埋没了多年的著作。只有这样,这位作家才会真正使自己的工作稳固而得到光荣。

这便是哥白尼在天文学史中的情况。在他以前,地球运动的假设早已经人提出。在他的时代里,也有人主张这种理论。但是,只有他才算是建立了不朽的事业,因为他以天文学家的忍耐、数学家的谨严、圣人的诚笃、哲人的智慧去做他的研究,他以他的工作去求得证明。他的理论,直到他死的时候还没有为人所了解,到他死后一个世纪,天文学界才正式采用,而且依靠教育才把这个真理普遍地宣传给广大的人民。从这一点看来,哥白尼实在是真正的宇宙体系的创立者,他的姓名将永远受到人们的崇敬和赞扬。

这位伟人不是权威,也不是君王,既不居高位,也无赫赫的声名或者高贵的头衔。他是一位医生,人类和科学的朋友,尽毕生的精力研究自然。他既不求财富,也不追虚名。他是一位波兰面包工人的儿子,他只凭借他的工作,成为他那个世纪最伟大的人物。由医治身体的医生而成为医治灵魂的教士,他的僧正的职位使他度过他所追求的澄静生活。他的舅父是一位主教,有时责备他研究天文是“枉费光阴”。

日心地动的理论在它胜利的道路上曾受第谷的阻碍。这位丹麦的天文学家于 1582 年提倡一种混合的体系,目的是使观测同《圣经》和亚里士多德主义调和。那时候,学校所传授的还是陈旧的见解,拒绝地动的看法。

这并不是因为第谷不了解哥白尼理论的优点,他曾经这样写道:“我承认,只需假设地

球运动，五个行星的公转便很容易加以解释。哥白尼把我们从过去数学家所陷入的矛盾里解放出来，而且他的理论更能满足天象。”可是他说，可惜哥白尼的体系不能和《圣经》取得调和，他想，为了满足一般群众，应该使行星陪伴着的太阳围绕地球而运行。

下面是这位丹麦天文学家说出的建立他的理论的动机：

“按着古人的说法和《圣经》的启示，我想，只应该把不动的地球安置在世界的中心。我不赞成托勒密把地球放在宇宙的中心的主张；我想，只有日、月和包含一切天体的第八重天，才以地球为中心而运行(图 365)。五个行星绕着太阳像绕着君王那样运行，太阳处在它们的轨道的中心，它们又陪伴着太阳做周年的运动……太阳就这样主宰着行星的公转，就像阿波罗在缪斯诸女神之中主宰着天上的和谐一样。”

第谷的体系仍然保存着托勒密体系中的严重缺点，因为把地球静止在宇宙的中心，所有的行星和恒星所在的整个天穹，都将围绕着我们在 24 小时之内兜很大的圈子。第谷的理论没有很大的影响，即使他本人，在发表他的主张以前也有过长期的迟疑。他受了一位利用他的助手的怂恿，违背心愿地发表了他的意见〔第谷受丹麦国王的支持，

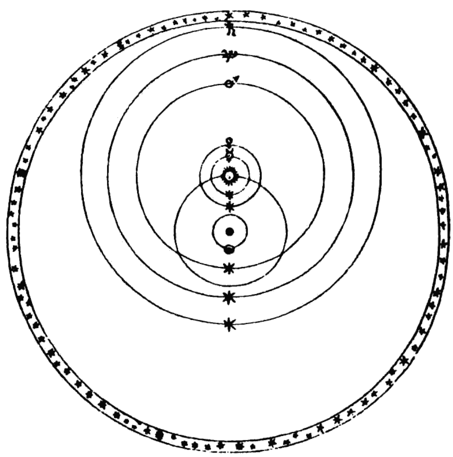


**图 365　第谷的体系(描拟图)**

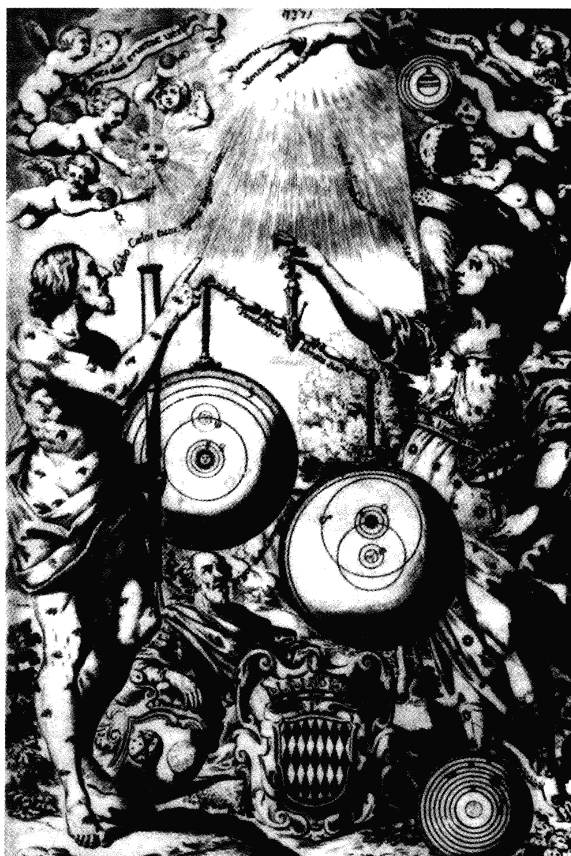


**图 366　宇宙的体系**

1651 年里希奥利《新体系》一书中的木刻图。

费了许多金钱去维持他的天文台，于是引起同僚的嫉妒。为了避免他的敌人控诉他信奉不符合宗教的邪说，第谷不得不作出这种调和论，去打退他的敌人〕。1651 年，里希奥利所刊印的《新伟大论》的封面还有像图 366 那样一幅奇怪的图画。图中，司天女神手执天平，而且表现出第谷的体系重于哥白尼的体系。还有一位周身是眼的人，无疑代表天文学家。托勒密和他的体系都在地上。在天上绘有被望远镜表现出来的行星的情况。17 世纪末法国大演说家波舒哀(Bossuet)引用了马丁·路德的一句话〔马丁·路德读哥白尼的著作时，叫道："这个疯子不知道约书亚曾对着太阳而不是对着地球说：'站住吧！'"〕，还主张运动的是太阳。法国作家费奈隆(Fénelon)把两种体系等量齐观，不分高低。教皇的宗教裁判所于 1616 年和 1633 年间还在禁书目录中宣布哥白尼的理论为邪说，禁止一切主张地动的书籍。整个 17 世纪以及 18 世纪的一段时间里，巴黎大学讲授地动学说时还特别说明这是一个方便的但是是一个虚构的假设。1631 年，巴黎造币厂在为纪念大主教黎塞留所铸的纪念章的背面上，铸有有翅的天使推着星球绕地运行，并且有一句题词"群星运转"(图 367)。可是，伽利略、开普勒和牛顿的工作证实了哥白尼的体系，而且说明只有这一种体系才符合力学的定律。唯有甘愿闭着眼睛的人，才继续生活在错误的认识中。

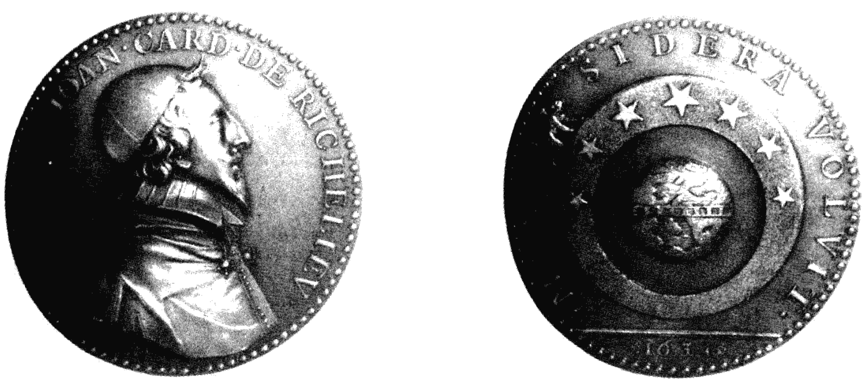



图 367　地心理论奇特的遗迹：黎塞留的纪念章

古人已经注意到，肉眼可见的行星总是离黄道不远，它们离开天球上这个大圆的南北都绝不超过 8°30′。设想在黄道两旁画两条线，围出宽 17°的经天一周的一条带，于是行星都在这条带内运行。这一条带叫做黄道带(Zodiaque)，这个名称是从希腊字 *Zoon*（"动物"）而来的，因为这条带内的星座大部分都有动物的形象。古人把这个黄道大圈分为 12 个部分，其中每一份是太阳每一月的居处。天王星和海王星是近代天文学家所发现的行星，它们的运行也在黄道带内。但是冥王星和在火、木两行星之间运行的一些小行星，因轨道倾斜度大，会走出黄道带去。至于彗星，甚至可以走到黄道的两极。

用肉眼观察古人已知的行星是不难的，只要你学会了辨认它们的颜色和它们稳定的星光(不闪烁)，以及它们在天上大约的位置，你便可以观察到它们。如果人们因好奇想观赏这些天上的“地球”，只需参考一本天文年历，如《弗拉马里翁天文年历》，便不难明了行星在天上的视行。在这类手册里，每一颗行星每一年在星空中的路径都可以用绘图表示出来。这本书内复制了几幅这样的图(图 356、359)，它们是在 1954 年绘的。在每月开始，行星的位置以一个数字表示，1 表示 1 月初，2 表示 2 月初……13 表示 1955 年的 1 月初。

行星的地心轨道并不在黄道面上，而与黄道面稍微有点倾斜。它们蜿蜒的路径，从地面上看去，在透视里呈现耳环或者绳圈的形状，如图 356、357 所表示的那样。又如图 407 中所表现的，在 1954 年 5 月 23 日至 7 月 29 日，火星在人马座内逆行。这个运动和图 359 中的地心运动的环圈部分相当。7 月 2 日火星距地球最近，只有它离太阳的平均距离的 43%。

初学观测的人时常会发现行星的逆行，如果他们没有听说过有这种现象，他们还会错怪这样的运动违背了哥白尼的体系。为了使这些天文爱好者安心，我们只需将行星公转的平均速度的列表看一下(第十五章)。地球围绕太阳运行速度是每秒 30 千米，火星的这种速度每秒只有 24 千米。如果这两颗行星同在太阳的一边的时候，它们的运动在同一个方向上，火星因为运行较缓，所以落后(图 368)，因而就成了逆行，这样看来，一点也没有什么神秘的地方。别的外行星，如木星、土星等，根据同一理由，当它们在和太阳相背的星空中发光的时候，也会逆行的。至于水星和金星，因为比地球更接近太阳，它们的速度显然比地球的速度大:水星每秒 48 千米，金星每秒 35 千米。因此，当它们经过太阳和地球之间的时候，我们看见它们由东向西移动，换句话说，就是逆行。这一切在哥白尼的体系下是多么简单啊！可是在托勒密的体系里，本轮重重，很难解释。

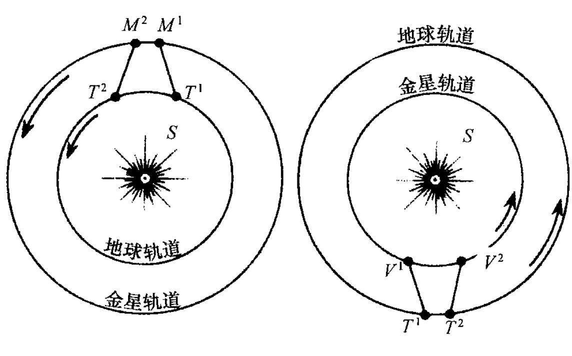



图 368　哥白尼体系里行星的逆行：左图为外行星，右图为内行星

平均说来，火星在冲以前大约 5 个星期就停止顺行而变成了逆行。行星回头倒退的一段时间，专门术语叫留。在冲以后，又大约 5 个星期，火星再顺行，过后又有一次留。平均说来，逆行期间总共有 73 日。木星逆行约有 4 个月，天王星有 5 个月。内行星的情形是，逆行时间很短，水星

23 日，金星 42 日(因轨道的偏心率可以有几天的变化)。

天文年历上记载每一颗行星在每一年内的合、冲、留、大距、方照等的日期。这些名词我们已经用了几次，现在还要再把它们的意义确切地说明一下。这些专门术语代表的意义是简单的，古代迦勒底的牧羊人便已经明白了。今天的人们还不知道它们所代表的意义，这是因为人们没有时间去观天的缘故。

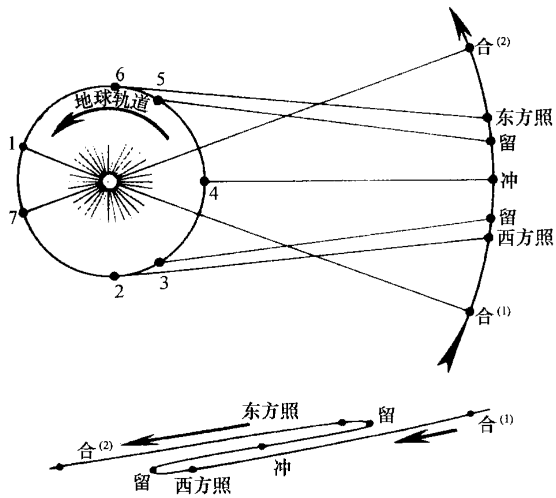



图 369 外行星在一会合周里的动态，下图表示这颗行星在星座间的行踪

我们先谈外行星。假设图 369 代表地球和木星绕太阳运行的两个轨道。在位置 1，地球、太阳和木星同在一条直线上，那时木星与太阳相合；换句话说，在天穹上它们好像是联合在一起了。自然不要说，这时候木星沉浸在太阳炫目的光辉里，眼睛不能看见，但是因为太阳比木星运行得快，木星渐渐地就脱离了太阳的光辉。当它在太阳西面 90°的时候，地球在位置 2，木星在夜晚的天空中异常光明，直至黎明后还亮晶晶的。那时，木星是在西边的方照。它的由西向东的运动不久就迟缓了，对于恒星来说，木星便停留不动，那时地球在位置 3；从那时起，逆行开始。大约再过两个月，太阳、地球和木星又列在同一条直线上，但和位置 1 的排列法不同，这时木星和太阳相冲。这是它和地球距离最近，也是它看上去最亮的时候。这时木星整夜可见，约在半夜中天。这是观测它表面物理情况最好的时候。上面所说的这两句话，同样可以适用于别的外行星，如火星与土星，在冲日时比在别的时候更容易观测它们的表面情况。

大约再过两个月，木星停止逆行，那时地球在它的轨道上居于位置 5。到了位置 6，地上的观测者又看见木星距离太阳 90°，但是这一次在东边，这是东边的方照，可以在日落的时候看见它。最后到了位置 7，地球又和太阳与木星在同一条直线上，这又是一次合。

在两次合日的期间，木星在星座的背景上绘了一个像 S 形那样的曲线，连续两次相合的时间叫做会合周期。

在本章内，曾经把行星环绕太阳运行一周所需的时间叫做恒星周期。地球的恒星周

期是1年零0.25日，火星是1年零10个月，木星是12年，土星是29年。所以恒星周期代表日心运动，至于会合周期，则代表地心运动。我们被地球带着做周年的公转，所以会合周期就是我们在地球上所看出的周期。为了使读者了解这两个周期的差异，让我们再作一个熟知的比喻。假想有甲乙两人在一个圆场上赛跑，甲代表地球，乙代表一颗外行星，譬如火星。假设乙比甲跑得慢些。两位赛跑者同时并排出发，甲在1年后跑回原处，乙在1年零10个月后跑回原处。这就是它们的恒星周期。但是甲所感兴趣的是跑在乙的前面好远。这个超出的距离随时间而增加，从1/4周到1/2周，从3/4周乃至到全周。那时，甲比乙整整多跑了一周，又并排一起跑，成了再度会合。从出发起到再度会合便叫做乙的会合周期。要计算这一周期，只需将圆周跑道的长度用甲乙两位赛跑者的速度之差去除即得。

天文学家就这样算出外行星的会合周期，列表如下：

| 行星 | 会合周期 |
|---|---|
| 火星 | 2年零49日 |
| 木星 | 1年零34日 |
| 土星 | 1年零13日 |
| 天王星 | 1年零4.5日 |
| 海王星 | 1年零2.25日 |
| 冥王星 | 1年零1.5日 |

所以我们在每一年内差不多总会看见木、土等外行星的一次冲或一次合。但是对于火星的情形，连续两次最接近地球而适宜于物理观测之间的期间是2年零2个月。上面表内的数字，没有把轨道的偏心率计算进去，事实上，连续两次冲或合的时间，可以与上表内会合周期的平均值相差一点。

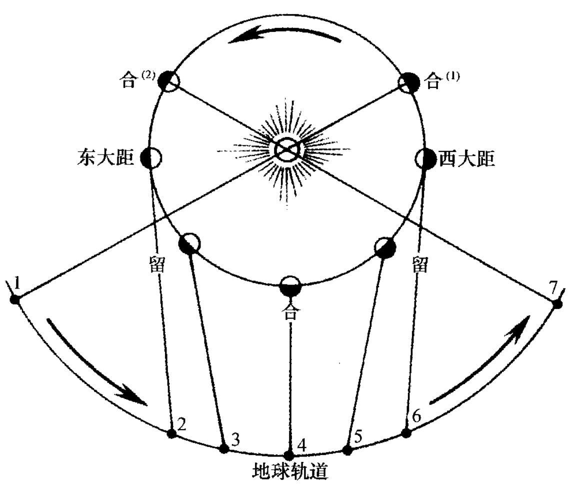


图370　内行星在一会合周期里的位相

内行星的情况基本上和刚才所研究的情况没有区别，所不同

的只是水星和金星在每一会合周期里经过日地之间，这是外行星所不会有的。图 370 大致代表了水星和地球的轨道。地球在位置 1 时，地球和太阳与行星在同一条直线上，叫做上合，那时行星距离地球最远。到了位置 2，地球上的观测者看见水星在太阳的东边，即角距离最大的地方，这时水星在东大距。地球经过位置 4，行星在下合，距地球最近，它的直径从地球上看去最大，可是它把它的黑暗的半球向着我们，因此水星不能被我们看见，有时可能呈现一颗黑点，投射在太阳表面上。

当地球在位置 3 和位置 5 之间的时候，行星的运动对于恒星的背景是逆行的。在这期间，行星在星座间描绘出环圈部分(图 371)，图 359 表示了几个例子。为了完成会合周期，还必须经过西大距的位置 6 而到再一次上合的位置 7。

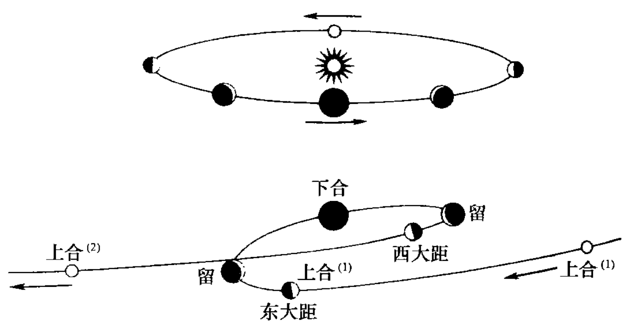



图 371　内行星对于太阳(上图)及对于星座(下图)的行踪

在内行星的情形下，会合周期仍然是行星和太阳连续两次上合或者下合中间所经过的时间。根据计算，水星的会合周期是 116 日，金星是 1 年零 219 日。图 371 表示内行星在一个会合周期里对于太阳运动的一般情况〔事实上我们所看见的轨迹并不完全闭合，因为行星和地球各在不同的平面上运行〕。至于行星对于恒星的运动，是它对于太阳的运动和太阳在黄道上的运动的综合。图 356 中那些美丽的曲线便是这样形成的。

很久以来，日、月和行星都各有公认的符号代表它们。太阳的符号是一个圆轮，几千年前古埃及人便已经使用。月亮的符号是娥眉月的形状，古代的民族都使用这样的符号。水星符号的来源是一根两条蛇缠绕的杖；金星的符号是一面镜子，或者是生殖的象征(圆圈下面放一个十字，起源于古埃及)；火星的符号是一枝矛；木星的符号是宙斯(Zeus)的第一个字母；土星的符号是一把镰刀。自 10 世纪以来，这些符号便被诺斯替〔这是基督教流行以前一种哲学式的宗教，主张人由知识而得到解放〕教徒和点金术士所使用了。

17 世纪的时候，人们开始把地球当做一个行星，它的符号是圆球上加一个十字。18 世纪发现了天王星，太阳系内便增加了一个行星，人们把发现者的名字赫歇尔的第一个字

母作为它的符号。1846 年发现了海王星，它的符号是海王神的三齿叉。最后，冥王星的符号是由代表这颗行星的拉丁文字的头两个字母综合而成的，同时也是预言这颗行星存在的洛威尔(Percival Lowell)的姓名的简写。

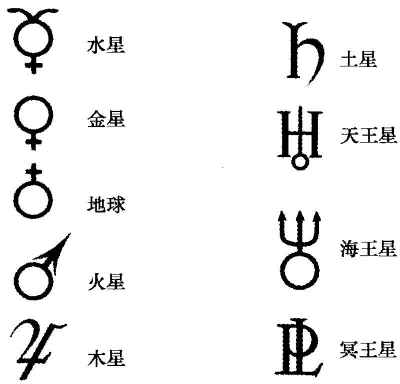



图 372　行星的符号

关于行星的一般介绍，我们就说到这里。我们对于太阳系既然有了一般的概念，我们便可以进一步讨论各个行星，它们和地球同是绕着中心太阳而运行的天体。



图 373　晚间天空的水星与金星：水星在上，金星在下

# 第二十七章

# 水　　星

我们将按照从中心到边界的次序去叙述行星世界。我们已经欣赏过中心的太阳的伟大，我们已经知道这些世界排列的次序，我们已经研究过它们的视运动和真运动，我们已经讲过这系统的第三颗行星（地球）和它的卫星（月亮）。所以，现在让我们从和太阳最接近的一个行星开始，来描写另外几个天上的"地球"吧。

第一颗是水星，在 19 世纪，水星轨道内有没有其他的行星还是一个意见纷纭、不能解决的问题，可是今天，它的地位已经是无可争辩的了。科学史上这个有趣的篇章，值得我们来叙述一下。在 19 世纪的时候，法国天文学家勒威耶想要把大行星相互的摄动计算进去，作出它们运动的数字表。这是一个异常繁重的工作，因为要这样做，就必须把两个世纪的观测全部加以整理。这工作使勒威耶不断地努力，一直到 1877 年他死去的时候。他

的工作刚一开始，便有一个意料不到的困难阻碍了他：好像只用摄动的理论并不能严格地表示出对水星的观测。要使观测和计算完全相合，他便需使水星轨道上的近日点在每100年内在理论值之外前进40余秒。

为了不破坏牛顿的定律而又能解决这个疑难的问题，勒威耶作了种种假设，其中最可称道的一个，是假设在水星轨道之内还有一颗没有发现的行星，它施摄动于水星上从而形成了这个差异。1845年，他为解释天王星运行上的类似的差异，认为是它轨道外另外一颗行星的摄引所造成的，于是定出这颗星在天空中的位置。这颗假想的行星果真于1846年被人发现，这一惊人的成就，使勒威耶在天文学上永垂不朽。勒威耶在水星的未能解释的摄动上，也想作同样的努力，并且相信会得到再度的胜利。1859年，一位天文爱好者，乡村医生累卡尔博(Lescarbault)在日面上看见一颗很圆的黑点，他认为这就是一颗行星的圆轮。于是勒威耶请求天文工作者注意观察太阳。他又在天文台的档案里和天文刊物中去找寻资料，于是寻得在1802年至1862年间有6个与累卡尔博的观察类似的观测。勒威耶认为这是最可靠的材料，于是利用它们算出一个水星内的行星的轨道，并且他预先把这颗行星命名为火神星。火神星过日面的时间计算出应在1877年3月22日。那一天，所有的望远镜都对准太阳的圆轮，可是并没有行星出现在那上面。以后，人们还利用日全食的暂时黑暗的机会，用目视和照相的方法在太阳的周围去探寻。这种探寻丝毫没有结果，所以今天已经被人们放弃。所谓火神星，并不存在。

既然寻找不出一颗或者几颗造成水星的摄动的行星，有人就再假设这是因为太阳周围有一圈宇宙尘埃的缘故。有名的数学家亨利·庞加莱，就曾经这样主张过。可是，这圈尘埃如果存在，便会散射日光，在黄昏和黎明的时候，因为它的散射光比黄道光亮得多，便会被我们看见，而且这一圈物质也会使彗星过近日点的时候受到显著的摄动。

于是，天体力学便无法解释水星近日点的运动。直到1915年爱因斯坦建立了引力的相对理论，这问题才得到解决。他证明，牛顿的定律对于太阳系最远的区域也得到很高的近似数值，但是对于最近的区域，引力效应便不简单地遵循牛顿定律。因此，在计算的结果上需加入一些修正，主要就在于轨道近日点的长期移动。我们可用已知量的函数去计算这个修正数，这些已知量中有一个便是光的速度。这样算出的结果，对于水星的近日点来说，100年前进42″.91，比用牛顿的理论所算出的结果要大得多。实际观测的结果是42″.84，和理论的结果真是吻合得使人满意。于是，观测和过去的理论不吻合的原因既然已经查明，所谓火神星便失掉存在的理由了。万一有一天发现一颗水星轨道内的行星，如果这颗行星的质量不是小得像陨星一样，便会使天文家再度陷于疑难。总之，从离太阳的

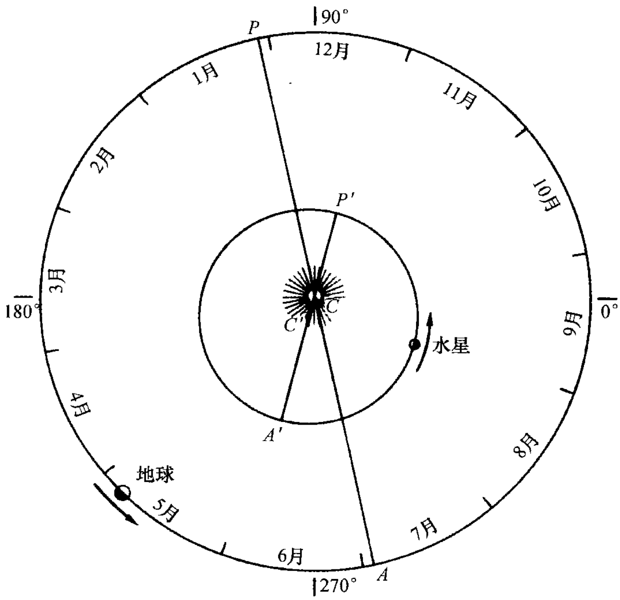



图 374　水星的轨道

距离计算，水星应该算是第一颗大行星。

就平均值而言，水星距离太阳 5 800 万千米，在 88 天内环绕太阳一周。水星的轨道在地球的轨道之内，按照开普勒第一定律，它的轨道是椭圆的，太阳在一焦点上（图 374）。它的偏心距，即椭圆的中心到焦点的距离达 1 200 万千米，如果以长轴半径作为单位来表示，轨道的偏心率便是 0. 206。在近日点时，水星距焦点处的太阳达 4 600 万千米；在远日点时，两者距离达 7 000 万千米。在所有的大行星的轨道中，只有水星和冥王星的偏心率最大。

水星和地球的距离在一个会合周期里变化很大，我们说过，其会合周期是 116 天，大约是 4 个月。当水星经过太阳和地球之间，且下合又与水星的远日点相合的时候，它距离地球只有 8 000 万千米，它的直径在我们眼里所对的角约 12″。自然，当它把黑暗的半面对着地球时，我们就完全看不见它。当水星在太阳的那一面发生上合的时候，它与地球的距离可达 2. 2 亿千米，那时，它的圆轮缩小至 4″. 5。但是，它向着我们的一面被太阳照着，比较容易用望远镜去观测它。

水星同地球和月亮一样，是一个黑暗的球，只反射太阳的光辉。在它绕着太阳的运行里，它也像月亮一样，按它被照明的半球被我们所能看见的大小给我们表现一连串的位相。上合时是满相，大距时是 1/4 相，下合时是新相。在一个会合周期里，这一切位相连续出现，所以会合周期规定了位相。

因为水星和金星的位相是肉眼所不能看见的，所以有人借以反驳哥白尼，他们说：“如果水、金两星在地球的轨道之内环绕太阳运行，它们便应该表现位相。”哥白尼回答道：“上帝将使人们发明仪器帮助视力，有一天你们会看见这些位相的。”真的，内行星的位相果然

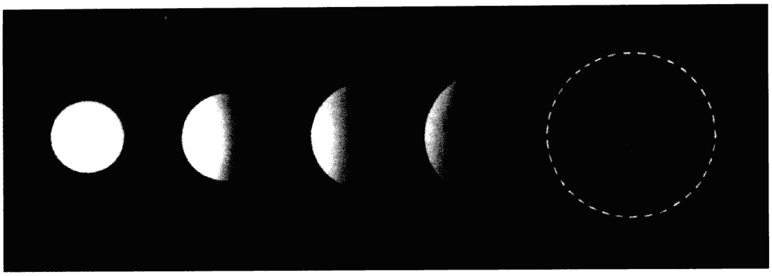


图 375 水星的位相

于 17 世纪被伽利略发现，成为日心体系的最有力的论证。

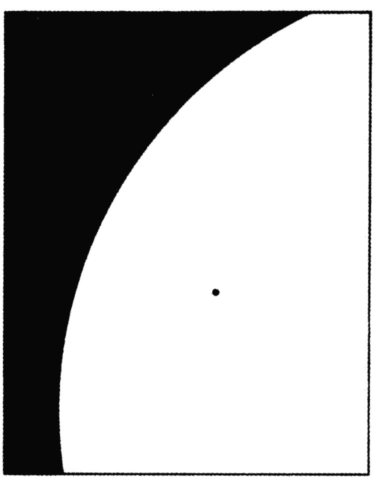
水星只在大距的时候才能为肉眼所看见，因为那时它和太阳的角距离最大。持续好几个晚上，我们可以看见它在下落前像 1 等星那样发光；或者，它在黎明前上升处发光，这需要看是东大距或者西大距而定。它离开太阳从来不会超过 28°，所以它在太阳前后出没从来不会超过 2 小时；即使它在大距的日子，夜色相当黑暗，可以用肉眼看见它的时候，它也总是在地平线的附近。只要地平线上稍微有点薄雾，水星就不会被人看见。哥白尼在波兰的弗劳恩堡就从来没有看见过水星。

今天的社会生活已经不受太阳升落的支配了，许多人在夜半还在活动。很少有读者愿意在黎明里去找水星，比较多的人在黄昏里才去做这样的观察。为了有效地做这一工作，他们应当在天文年历里寻找水星在东大距的确切日期，这日期应在 2 月至 6 月里，最好是在 5 月 1 日前后。观测者应当在天气晴朗的时候和天空明朗的地方进行观察。观察者应当在夕阳光辉照耀的西天上搜寻，如果预备一幅小的星图，他便不难在许多比较暗的星星里辨认出特别明亮的水星。这是水星快要下落的时候，像太阳或者月亮快近地平线的情形一样，它的颜色逐渐由黄变为红。如果有一位观测者在早上日出以前去做这个工作，他便该选择西大距的时候，这日期在 8 月至 12 月里，最好是在 10 月 20 日前后。

上面所说的用肉眼观察水星的情况，每年只有几个晚上和几个早上才办得到。用望远镜观测则可以看到更久一些。这样的观测最好在白天，在离地平线相当高的天空上进行，以便利用比较优良的大气条件。用小型的望远镜就可以观测，但必须有赤道仪的装置和经纬度盘，因为在灿烂的太阳附近去找水星，必须确知它的位置，校准仪器才可以一下子就找到它。许多观测者纵然在望远镜里也没有把水星找到，那是因为他们在判断上犯了错误，他们只注意到水星的视直径，却忘记了它整体的亮度才是它的特性。水星在上合时直径不过 4″，但是它的圆轮迎面被太阳照着，在望远镜里，即使在中午也会引起观测者的注意。不但是在上合那一天，水星最接近太阳的时候，即使在以后几天里也是一样地引

人注意。水星离太阳渐远，它的视直径虽然增加，可是它的亮度反而减低。即在大距的时候，水星还是可以被看见，但是以后就迅速地暗淡下去了。在东大距以后两周，即使在大望远镜里，水星也不能被人看见。在下合后，西大距前两周，它又出现。在望远镜里它的能见度继续增加，一直到下一次上合的前夕。

由此可见，因为水星急速地运动，好像在和我们玩捉迷藏的游戏。它刚刚出现，又很快隐藏，在落日的光辉里闪耀一下它的光芒，然后又迅速融合在阳光里，过几天又出现在破晓的东方天空，有时是昏星，有时又是晨星。古人还以为它是两颗不同的星星呢！古埃及人把它们叫做塞特和何露斯，古希腊人把它们当做阿波罗和墨丘利两尊大神来崇奉。在夕阳光辉里首先发现水星的，是深信天命的古埃及牧羊人。塞特和何露斯像太阳的两颗卫星，总是陪伴着太阳。以后，证明了它们实在是一颗星，于是古埃及的天文学家认为水星是环绕太阳而不是环绕地球运行的行星。我们说过，托勒密在他所主张的地心论里，为了要把水星的运行依附在太阳的运行之内，不得不有很大的牵强附会。总之，他从来没有把水星的运动计算得满意。今天我们知道其中的原因，这是由于水星的轨道十分椭长，和正圆有显著差异。


图 376　水星凌日

水星运行的敏捷给予代表它的墨丘利神以种种相应的性格。人们给他脚上装了一双翅膀，把他看成是神灵的使者。他也是商人、医生的保护神，甚至是小偷的保护神！他的有两蛇缠绕的杖，今天还用来装饰药剂师的门楣，也是今天天文年历里代表水星的符号。

假使水星和地球同在一个平面上环绕太阳运行，每逢下合的时候它必经过日面，平均 1 年必有 3 次。但是，水星运行的轨道面和黄道斜交成 7°的角，要使水星的球体恰恰经过日面，必须使下合刚好发生在两轨道面的交线上。每年 5 月 8 日、9 日和 11 月 10 日、11 日，地球经过这根交线。所以，如果水星的下合适逢在这些日子的附近，便会产生水星凌日的现象。

水星凌日比我们说过的金星凌日机会要多得多。平均在每一世纪里水星凌日有 13 次，两次相隔的年数不等，有 3 年、7 年、10 年或 13 年几种。下面记载 20 世纪中水星凌日的日期（图 377）：

1907 年 11 月 12 日　　1957 年 5 月 5 日
1914 年 11 月 7 日　　1960 年 11 月 6 日
1924 年 5 月 7 日　　1970 年 5 月 9 日
1927 年 11 月 10 日　　1973 年 11 月 9 日
1937 年 5 月 11 日　　1986 年 11 月 12 日
1940 年 11 月 12 日　　1999 年 11 月 14 日
1953 年 11 月 14 日

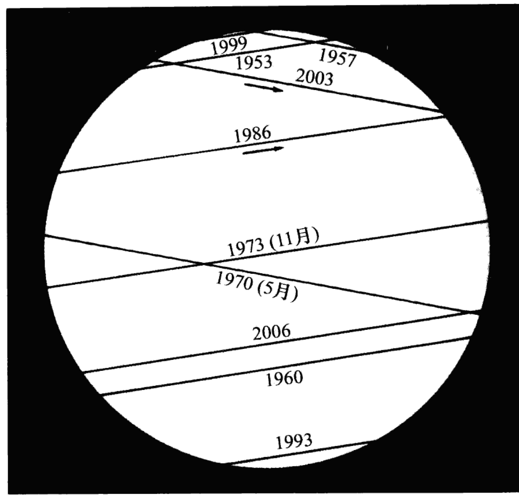


图 377　水星凌日(自 1953 年至 2006 年)

我们可以把这张表应用到前一世纪或者后一世纪,只需在上列的日期里减掉或者加上 46 年。可是,这个规则也不是没有例外。譬如 1937 年的一次凌日,仅仅是在日轮边沿上掠过,不能叫做正式的凌日,所以在 1983 年就不重演。还有另外一种 217 年的周期,虽然比较准确,却因太长,没有多大用处。

图 377 表示自 1953 年至 2006 年水星凌日在日面上所走过的路径。由图中可见,每次凌日,水星在日面所走的路径长短相差很大。虽然在表面上有这些复杂现象,可是 5 月里和 11 月里凌日的轨道各自是平行的。水星总是由东边进日轮,由西边出去。这是一种逆行(据理应当这样),和日食的时候月亮沿顺行进入日轮不同。根据哥白尼的日心理论,便很容易解释这种差异。

望远镜没有发明以前,人们不能观测水星凌日,自不待言。最初的一次观测在 1631 年。开普勒预言这一次凌日时期在 11 月 7 日。伽桑狄(Gassendi)说:“狡猾的水星想偷偷地溜过去,它在预料的时间以前就进了日面,可是它并没有逃过我们的注意。我发现了它,我观测了它,这是在我以前没有人做过的事。时间是 1631 年 11 月 7 日早上。”

自从那一次以后,每次水星凌日都曾被人观测过,因此人们便精密地测定了水星的轨道。勒威耶搜集了自伽桑狄以后直至 19 世纪中所有的凌日观测,加以讨论,才发现了水星轨道近日点的运动,如像我们在这一章开始时所说过的那样。

现在讨论一下水星的物理情况,水星是大行星中最小的一个。在本书第十五章里可以看到,水星的直径只有地球直径的 37%,即大约是 4 700 千米,或等于月亮直径的 4/3(图 378)。因为水星没有卫星,质量不易测定,现在确切测得它的质量是地球质量的 1/19,比月亮的质量的 4 倍稍多一点。由此算出它的平均密度是水的 5.8 倍,所以水星是

大行星中最密的一个。

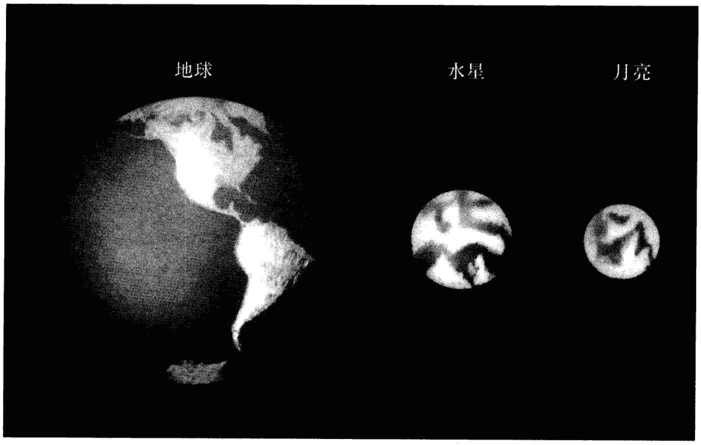



图 378　**水星、地球、月亮三体的比较**

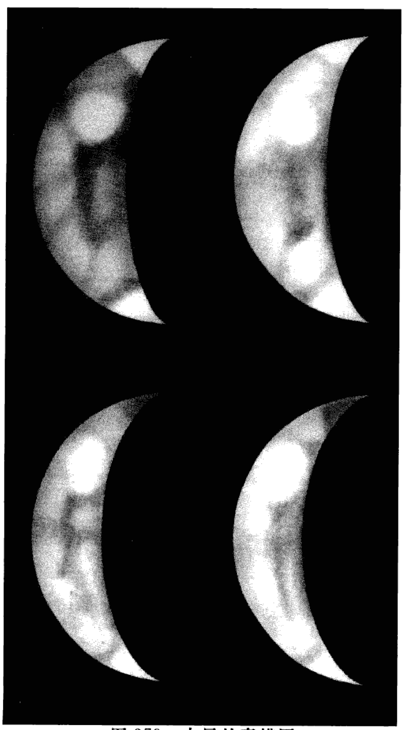


图 379　**水星的素描图**

丹戎于 1925 年 3 月 30 日、31 日及 4 月 2 日、3 日在斯特拉斯堡天文台绘制。

水星的表面是荒凉的，用大望远镜观测，在球面上看见一些明暗的斑痕。它的形态没有变化，表明它们属于水星的土地，它们是由各种物质形成的。这些现象也像月亮表面呈现在我们肉眼里一样，所谓“海”和“陆”，仅是不同性质的土地的表现罢了。我们可以借描绘或借照相去观测这些斑痕。在最好的观测条件下，水星的现象就好像用肉眼观察月亮那样。图 379 和图 380 是丹戎(Danjon)在斯特拉斯堡天文台和李奥在日中峰天文台所描绘的水星表面图。位相虽在演变，同样的图形在各张图上总是一样的。对这些图画的详细研究说明，斑痕是经常存在的。李奥观测所用的望远镜口径为 38 厘米，焦距长 6 米，当大气情况良好的时候，放大率可达 450 倍。

水星表面的照片直到 1931 年才在弗拉马里翁天文台被天文家凯尼塞(Quénisset)拍成。

图 381 是 1942 年在日中峰天文台所拍的照片，所用的望远镜就是用以描绘图 380 的望远镜。

自 1942 年以后，又装置了一座更大的、口径为 60 厘米的望远镜，可以观测更小的斑

痕，例如图 382 比图 380 便更能表示出水星的细节，其放大率为 900 倍。

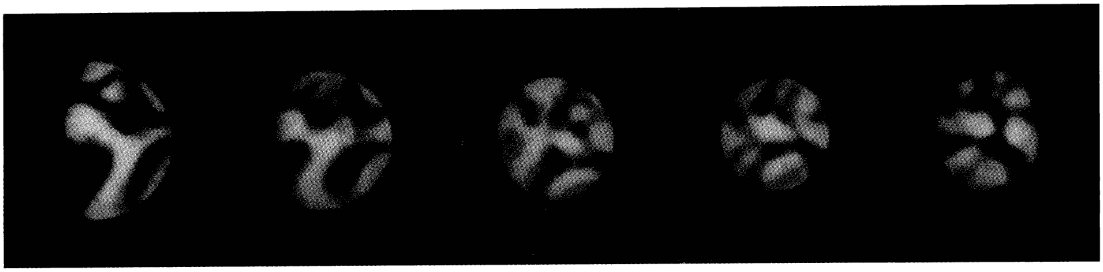


图 380　水星的素描图
李奥于 1942 年在日中峰天文台绘制。

综合水星表面上的斑痕，我们可以作出它的平面图形。这种平面图最有名的当推斯基帕雷利(Schiaparelli)根据 1881 年至 1889 年的观测所绘成的那一幅，以及安东尼亚迪(Antoniadi)于 1934 年所绘成的那一幅。图 383 是根据日中峰天文台所拍的照片而作成的平面图。研究这些斑痕，我们可以大略了解水星绕轴的自转。斯基帕雷利首先证明水星的自转轴差不多和它的轨道平面正交，自转一周需要 88 天。可是，水星环绕太阳公转，周期也是 88 天。因这两种周期相合，结果水星常以同一半球对着太阳；这半球常被太阳照着，而另一半球从来没有见着日光。所以，在一切图画和照片上面，照明半球上的斑痕总是差不多在相同的位置上。我们绝对不会知道它相反的那一面半球的地形，这不是因为这半球不转过来向着我们，而是因为它照不到日光，那里总是黑夜。

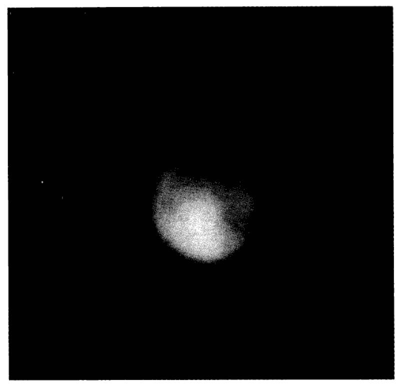


图 381　水星的黑斑
1942 年 8 月 10 日由日中峰天文台李奥等拍摄。

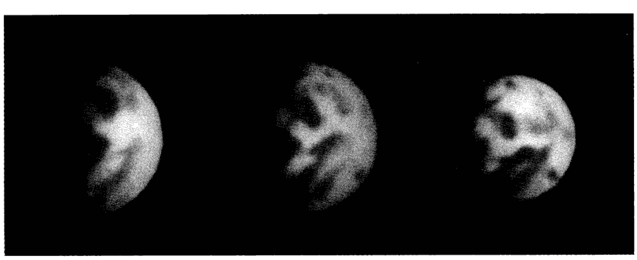


图 382　水星的素描图
1950 年 10 月 6 日、12 日及 19 日，由日中峰天文台多尔菲斯绘。

事实上，昼夜的分界在水星表面上并不严格地确定，实际相差很多。水星有一种天平动，它在平均位置上向两旁摆动，可达 24°。假设水星的自转轴和它的轨道平面正交，我们便可将它的表面分为 4 个月形带：1 是永昼带；2 和 3 两带围绕着永昼带，每带各有 48°，在一个恒星周期 88 天里，这两个带内各有太阳的起落一次；4 是永夜带，和永昼带相背，它与永昼带相同的是各占 132°。在第 1 带的中央，于 88 天内，太阳好像在天顶左右摆动，其摆动不超过 24°。如果水星上的物理情况容许有思想的生物生长，那里的天文学和地球上的天文学是迥然不同的。那里没有迅速的周日运动使太阳和星星不断地在天穹上运行，他们怎么能去测定时间与星星的坐标，以及行星的运动呢？由此可以想见，因地球自转的方式，再加上我们大气的透明，这是多么便利了早期天文学家的工作啊！

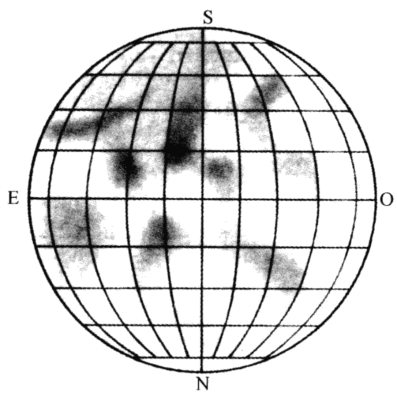



图 383　**水星的平面图**

根据李奥等的照片于 1942 年在日中峰天文台描绘。

水星的自转周期和公转周期为什么恰恰相同呢？绝不会是偶然的相同。天文学家柯克伍德(Kirkwood)作了如下解释：水星在太阳很近的地方运动，所受的引力使水星这个球体稍微变形，它在太阳的方向伸长而成了扁球。这扁球的自转运动总是拖曳着这个凸出的部分，使它因可塑性的缘故而时常变形，于是自转受了抑制作用，逐渐缓慢，周期增长。在漫长的时间里，这终于使自转一周所需的时间等于公转的周期。

详细研究水星表面的斑痕，发现它的自转轴并不恰好和它的轨道面正交，而有一个小小的倾角，这和组成星球物质的弹性形变极限是相符合的。

水星的表面情况和月球上的情况很相似。这种相似并不是仅凭直觉判断，也不是根

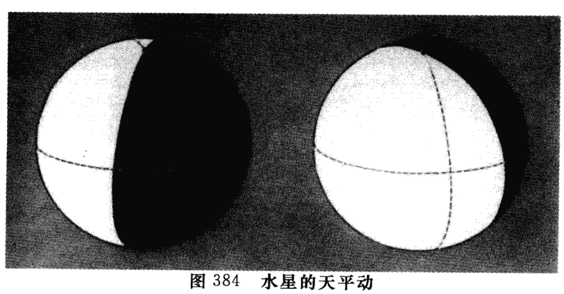


图 384　**水星的天平动**

明暗界限在它的平均位置两边做 24°的摇摆，其界限附近的黑斑依次可见和不可见。

据几点迹象，而是被天体物理学家艰苦工作的结果证明了的，这是因为对水星的漫射光线所作的分析和对月光所作的分析有奇特的相似。

有人曾经测定过水星的亮度。做这种测定的仪器叫做光度计。光度的测定有时是很困难的，因为我们得透过地球的大气去做观测，而大气里的云雾使星光成不规则的暗淡。丹戎使用他的微差光度计将水星的光和太阳的光在白昼里直接加以比较，大气吸光使两个光源按相同的比例而变暗，因此测量的结果不大受大气吸光的影响。这种测量逐日进行，于是绘出一根曲线，表明水星的亮度随位相而变化，这根光度曲线表现了水星表面土壤的某些特征。我们可以把这根曲线和月亮的光度曲线加以比较，便可以看到它们是很相似的，这表明这两个星球的土壤反射日光的情况简直是有奇特的相同之处。

把漫射到各个方向去的光线加在一起，我们可以估计行星反射日光的总量，这叫做反照率。水星的反照率是 0.063，比月亮的反照率还小一点，所以就全体而言，水星的土壤要更暗一些。

我们还可用偏振计去研究水星的土壤。用这种仪器可以查出，在我们所接收的星光里有一小部分是在某一特殊方向上振动的，我们便这样去测定偏振光的成分。当位相变化的时候，这成分发生变化。李奥曾作出水星的偏振曲线，它和月光的偏振曲线十分相似。这种奇特的相同，说明水星和月亮的土壤在结构上是一样的。因此，水星表面也是被颗粒状的很能吸光的细粉末所掩盖，正如图 167 所表明的一样。水星表面可能有坑穴和环形山，虽然我们还没有物理的证据。如果这些山的起伏两倍于月面上的环形山，那么由水星的明暗交界线蜿蜒的现象便可以确定有环形山的存在。可是，没有人查出这样的现象，所以水星表面的起伏情况总不会超过月球表面的情况。

水星上应有分解粉末的侵蚀、再塑和陷没等的土壤变化，可是因为那里的昼夜变化不显著，这种因受热而来的变化也就不显著了。

水星上有一个特点是月球上所没有的。这便是水星上有大气。天文学家利用许多方法想去发现水星上的大气，例如在水星经过日轮或者日冕前面时去观察，或者使用分光镜或偏振计去观测它。可是，要能查出这样稀薄的气体壳，我们必须使用极精密的仪器，把它装在大型望远镜上，而且还需有极端稀有的优良的观测条件。水星的大气终于被人查出了，它的圆轮上各点都分布偏振光，这是稀薄的大气壳所应表现的情况，根据测量的数字算出，在水星表面上这气体的密度只有地面大气密度的 0.003。这样稀薄的气体可能是由水星发出的稀有气体，特别是氩气和流星坠落时所放出的氧化碳气体。这些既重且稳定的气体只能缓慢地消逝在行星际的空间，可是它们又是慢慢发出的，因而总是维持着这

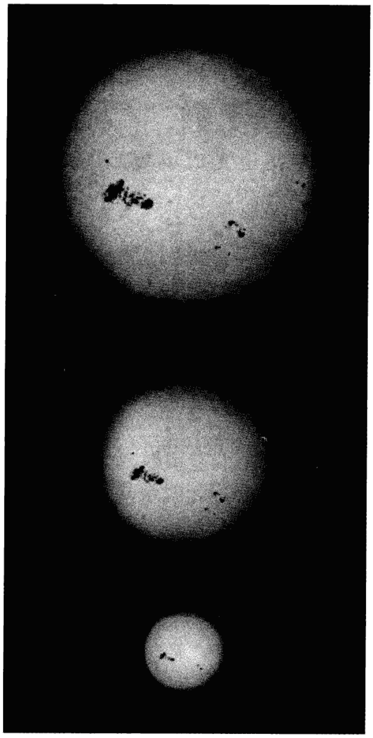


图 385　从水星的近日点(上图)、远日点(中图)和地球上(下图)看太阳的情况

一层大气。

被太阳照着的半球很热,黑夜的那边很冷,因此空气发生强烈的对流,形成风。又因水星上的引力小,表面上的灰尘应该容易被风卷起,造成障幕。这样的障幕斯基帕雷利首先猜测过,后经安东尼亚迪加以描绘。但是,如以今天所拍得的照片去加以比较,却没有发现这样的现象,可见这种灰尘障幕即使有也是极为稀罕的。

水星上没有像地球上那样的四季,但是因太阳的视直径的变化(图 385),它所接收的日光在一个公转周期里有很大的变化,这种情况造成了一种特殊的季节现象。当水星在轨道上近日点的时候,日轮表现的直径是 1°44′,太阳倾注在水星表面上的光和热,是在同样情况下倾注在地球上的 11 倍。可是,当水星在远日点的时候,日轮的直径只有 1°8′,它从太阳所接收的辐射只是地球所接收的辐射的 4.5 倍,这仍然算是很多的。有时我们抱怨日光过于炎热,假使在 7 月里有四五个太阳一齐照在我们的头上,我们更会怎样地抱怨呀!




图 386　墨丘利代表水星的神(根据古木雕图)

坡印廷(Poynting)算出水星赤道上的温度应是 230℃,如果太阳在水星的天顶,这温度还可升高到 400℃,这是熔化锡和铅的温度。天文学家已经有办法直接测量行星的温度。行星距离我们虽然很远,但利用对光的分析,我们可以核对由理论推得的温度。他们所用的是一副温差电偶,它把接收的辐射变为极微弱的电流,这电流使电流计偏转。行星所发的红外光愈多,温差电偶所产生的电流愈强;行星愈热,它所发的红外线也愈多。天文学家中,先有柯布伦茨(Coblentz)和兰普兰德(Lampland),继有帕蒂特和尼科耳桑,用威尔逊山的大望远镜极度细心地做了这样的

测量，他们所得的结果如下：

当水星在近日点的时候，在照亮的半球上，太阳在天顶的地方温度高达410℃；在远日点的时候，这温度还有280℃。反之，和这些地方对径的相反的地点上，黑夜是冰冷而永恒的，温度下降到只有10 K或20 K。那里除了深沉不变的繁星点点的天空以外，真是沉寂、寒冷和黑暗的世界。

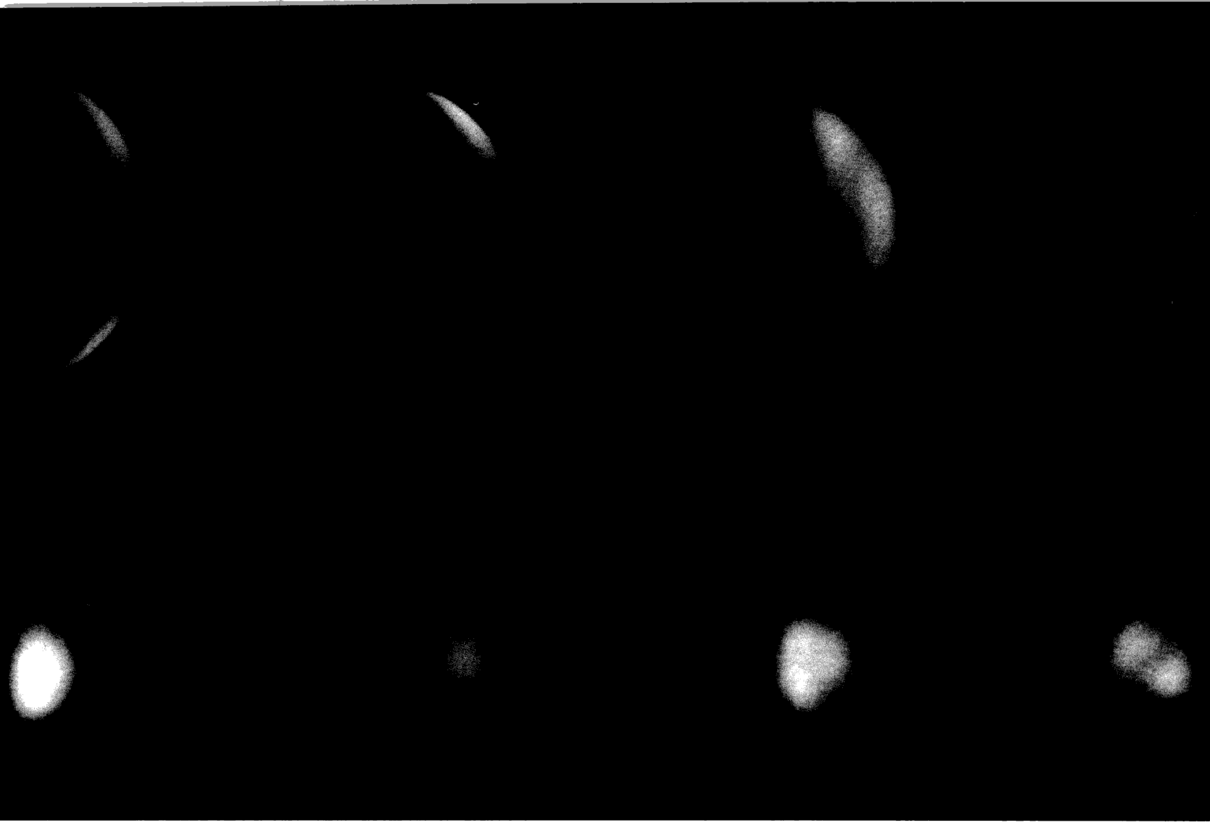


图 387　表示各种位相的金星照片（日中峰天文台卡米舍耳拍摄）

## 第二十八章

# 金星——牧羊人的星

有两个世界在地球和太阳之间运行：第一个是我们刚才谈过的水星，第二个便是我们现在要说的金星。环绕太阳运行的行星，第一个与太阳的距离是 5 800 万千米，第二个 1.08 亿千米，第三个 1.49 亿千米，我们不但已经熟悉这些数字，而且还知道太阳系的图案，如像我们知道法国的或者欧洲的地图一样。真的，这是我们在天空旅行首先应该具备的一个概念。有些旅行家不先看地图，便不知道他们现在是在哪里，要向哪里去，这样至少会减少一半的快乐。我们开始学习天文学，便不应当这样做。学习的方法并不比学习的题材次要，我们甚至可以说方法还更重要些，因为它可以使我们在思想上做好准备，去

依次接收科学上所获得的资料，加以合理的分类，放在它们应有的地位上去，犹如一幅被大自然做成的镶嵌图案中的一小部分一样。有人说，即使是最困难的问题，只要说明了它的意义，就算解决了一半。

我们现在谈到太阳系里的第二颗行星。我们不必再描写它的轨道，因为在太阳系概观和金星凌日那两节里我们已经叙述过了。关于水星的运动我们所说过的一切，也可以用到金星的运动上去，只是要略改一下：金星距离太阳自然比较远些，它的会合周期和恒星周期也比较长些。既然金星的轨道在水星的轨道之外，我们看金星距离太阳的角度也会大些，这角度可大到 48°。因此晚间金星在太阳西下以后才下落，早晨在太阳东升以前就出来了，这其间的时间差达到 3 小时以上。我们可以在黄昏结束后黑夜的西天上，也可以在黎明以前东方的夜空中看见金星。在我们的地理纬度上，绝不会在天黑尽以后看见金星过子午圈，像水星一样，金星是晨星（启明），也是昏星（长庚）。

金星的光辉很强，只要在大气清洁透明，而且金星距离太阳相当远的时候，甚至在白天我们也可以用肉眼看见它。在地中海边，那里以天气晴朗著名，有"天文学摇篮"的称号；或者在高山上，那里的天穹比海边还蔚蓝；在中午，金星也常会引起没有存心去看它的人的注意。黑夜里，金星像远处的灯塔一样，能使所照的物体产生阴影。在两次世界大战期间，有不少侦察员把金星误认做一架飞机！在古代，埃内在他脱罗亚的旅程里，当走向意大利的时候，他看见金星在他顶上发光；1797 年 12 月 10 日，拿破仑从意大利回到卢森堡宫的时候，他的政府内阁在那里为他预备着胜利的庆贺，他被天上的金刚钻般的金星陪伴着，巴黎人仰首瞻望表示崇敬。

金星因其光辉灿烂，无疑是首先被古人注意到的行星。荷马在他的《伊利亚特》第 22 章里，曾经这样歌唱："阿喀琉斯（Achilles）举起锐利的矛，像天穹上最明亮的金星，闪闪发光。"作为晨星，她有"启明"（"光明的带来者"）的称号，于是成为阿波罗太阳神的前驱使者，在神车前面奔驰。以后，又被人尊为司爱的女神，成了牧羊人的星，人们赋予她真诚的信赖。自原始时代以来，每逢她圣洁的眼光注视着大地的时候，情人们把她当做是她们心上最愉快的象征，期待着她们的恋人来相会。在静寂温暖的春宵里，这司爱的星辰不知窃听过多少人的海誓山盟！

让我们现在按照我们对于水星所讨论的次序研究一下金星的运动吧。金星的轨道差不多是圆形的，它和太阳之间的距离在一个恒星周期里变化很少，它的极小和极大值分别是 1.07 亿千米和 1.09 亿千米，因此它轨道的偏心率很小。金星和地球之间的距离变化要大一些，在上合时达 2.58 亿千米，但在下合时却可以近到 4 100 万千米。在上合时金星

的圆轮直径只有 10″，完全被日光照亮，呈现差不多均匀的白色。在下合时直径是 61″，比 1′多一点，但是除了它的边缘上有一丝明亮的光线以外，它完全是黑暗的；过后，东方向着太阳的一边出现银白色的一钩娥眉。在大距时，金星向我们显露 1/4 的面貌，视直径是 25″。

在 584 天的会合周期里，金星向我们表现一切可能的位相（图 388）。在望远镜里，不论什么时候都可以看见金星，不像水星在下合附近便隐藏不见了。刚才说过，它的视直径随位相大有变化，只要中型的望远镜便可辨认出这些变化。人们在望远镜里第一次看见金星，常会产生一种幻觉，以为他所看见的是月亮，这是很容易理解的。对于没有天文知识的人，还难于给他解释，只有让他看看天上并没有月亮，可见在望远镜里所看见的的确不是地球的卫星。在望远镜里观察金星最好的时间是在白天，因为在夜里这颗行星的炫目的光辉常使人分辨不清楚它的界限。一个好的 8 倍的双筒镜（观剧镜）便已经可以分辨出金星的位相，特别是当它在娥眉形的时候。因此，金星是最容易被观测到的星，不像水星那样必须等待特殊的机会。

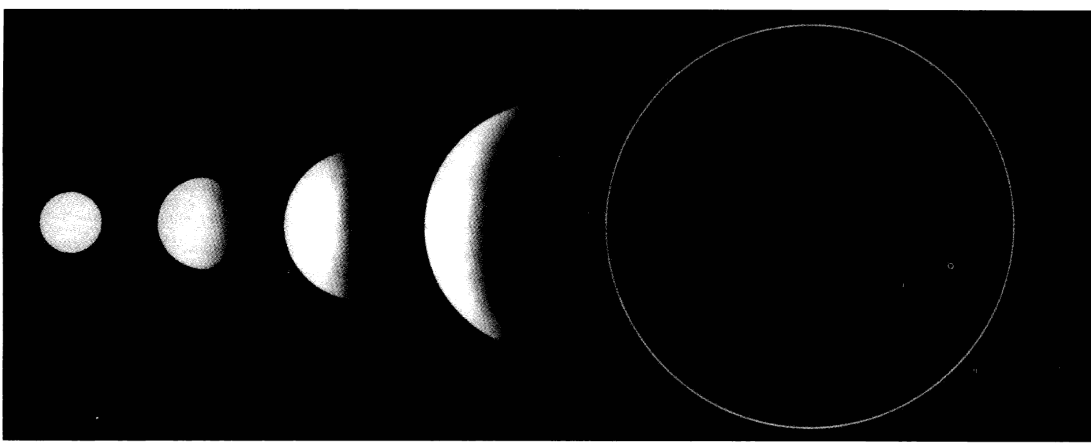


**图 388　金星的位相**

望远镜发明以后，人们用它去观察天体，很快就发现了金星的位相。伽利略于 1610 年 9 月末用 30 倍的望远镜看见了金星的位相。为了还需要时间去证明他的发现，而又不愿意被人夺去他发现的优先权，他刊布了下面这句暗语：

*Haec immatura a me jam frustra leguntur, o. y.*

（枉然，这些东西被我今天不成熟地收获了。）

这句话里的 35 个字母如果另外加以排列，便成了第二句话，说明了他的发现：

*Cynthiae figuras emulatur mater amorum*

(爱神的母亲仿效狄安娜〔爱神的母亲指金星,狄安娜是月神。——译者注〕的位相。)

如果读者有耐心,可以在这两句话里去数一下,都有 11 个 a,2 个 c,6 个 e……

内行星位相的发现给哥白尼日心系的理论以一个有力的证据,在当时产生了很大的影响,伽利略本人很相信这个事实,但是他却不敢宣布。1610 年 11 月初,卡斯特利(Castelli)神父问他火星和金星是不是发生位相,他很机警地作了下面这个回答:"天上有许多需待研究的事,可是因为我的健康状态很差,夜里我时常躺在床上。"一直到了 12 月末,他才揭露了他暗语的含意。

望远镜发现以前,没有人谈过金星的位相。自从位相被人发现以后,有些自夸视力很强的人,说他们早已用肉眼看见过位相。这实在是一种幻觉,也许是由于瞳孔上有一点儿缺陷,使视觉发生了误差。我们说过,金星的视直径至多只有 $1'$。这样小的圆轮的像,在我们的视神经上只有视觉的一个神经单元那样大,要使视觉辨认出金星的娥眉形的像,这形象所接触的应当不是一个神经单元,而是许多互相连接的神经单元,可是这形象太小了,不能同时盖住许多神经单元。所以,如果不用放大的仪器,只用肉眼去看金星的娥眉形状,就生理上说,这是不可能的。

我们不再谈金星凌日,我们只提提这种现象的周期是 243 年(152 个会合周期)。虽然这是一个很准确的周期,但因其太长,实际上很少用到。如果我们只讨论金星的地心运动的一般情况,例如它作为昏星或者晨星而出现,8 年的周期已经算是相当准确的了。事实上,金星的 5 个会合周期是 8 年(每年 365.25 日)减去 2 天零 10 小时。我们不能用这个周期去预言未来的凌日现象,但是去推算最好的大距却很方便。金星的东大距发生于春分前后,那时,作为昏星它的光线特别明亮。很好的一次大距发生于 1945 年 2 月 2 日,下合发生于同年 4 月 13 日。20 世纪后半期内须记住的年份有 1953 年、1961 年、1969 年、1977 年、1985 年和 1993 年。在上面所说的日数上再减去 2.5 日,我们便可得到这 6 年内大距和下合所发生的日期。根据同样的计算,我们可以推算出,金星作为晨星在 1951 年、1959 年、1967 年、1975 年、1983 年、1991 年和 1999 这 7 年内的秋季里是最适宜于观测的时期。

我们也可用 8 年的周期去寻求下合,即金星和太阳的角距离最小的日期。每逢下合,行星经过太阳和地球之间。但是,我们知道凌日的现象是很稀罕的,从地球上看去,下合时金星总是从日轮上面或者下面过去。那时,在望远镜里我们看见一丝极细的娥眉镶着金星的黑暗的边缘,超过半周以上(图 389)。当金星和太阳的视距离相当小的时候,娥眉的两个尖角可以接合起来,于是我们在望远镜里看见一个光亮的细环。下表记载这种细

环每 8 年一见的周期，表中的地心黄纬说明金星在下合时和日心的角距离。这一系列适宜观测的下合到 2004 年与 2012 年两次的凌日而完结：

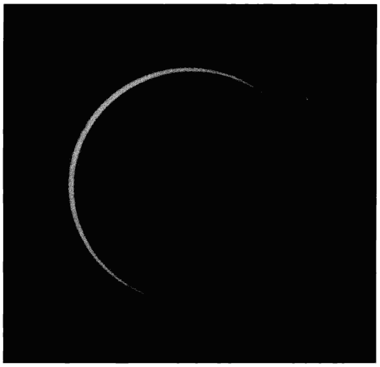


图 389 下合附近金星的娥眉形状，注意娥眉角的拖长情况

| 日期 | 地心黄纬 |
|---|---|
| 1956 年 6 月 22 日 | －2°8′ |
| 1964 年 6 月 19 日 | －1°49′ |
| 1972 年 6 月 17 日 | －1°29′ |
| 1980 年 6 月 15 日 | －1°10′ |
| 1988 年 6 月 13 日 | －0°50′ |
| 1996 年 6 月 10 日 | －0°30′ |
| 2004 年 6 月 8 日 | －0°11′(凌日) |
| 2012 年 6 月 6 日 | ＋0°9′(凌日) |

有时，有人在金星的娥眉里看见一点略带紫色的光辉，好像是从它的圆轮上发出来的。有人把它叫做金星的灰光，这是一个不恰当的名称，因为金星没有卫星把光辉反照在它上面。可是这光辉并不是假的，也不是我们的幻觉，而是由折射望远镜的缺陷所引起的。事实上，所谓金星的灰光从来没有出现在反射望远镜里。折射镜的物镜是两块透镜重合做成的，总有或多或少的色差。如果我们用折射镜去看一颗很亮的白色星，如织女、南河三或者天狼，我们可以在它的周围看出带蓝紫色的晕圈，这也是由于同样的缘故。

金星球体的大小差不多和地球相等。它的赤道直径是 1.24 万千米，约为地球赤道直径的 0.97。金星的体积是地球体积的 0.87，至于它的质量，只是地球质量的 0.81，因此金星的平均密度比地球的要小一点，即 5.1 克 · 厘米$^{-3}$而不是 5.5 克 · 厘米$^{-3}$。这些数字今天都很明白，只是测定时很费时间。因为水星和金星都没有卫星〔十七八世纪的几位观测者曾经宣布金星有一颗卫星。后来经人证明，这些在金星附近的星不是恒星便是已经被证明了的行星。在 1764 年，即赫歇尔发现天王星之前的 17 年，天王星曾在金星附近 16′，被人误以为是金星的一颗卫星〕，我们只好借它们对别的行星(如地球、火星、爱神星等)的摄动去推算它们的质量，这必须要整理几十年来所积累的无数的观测资料。幸而天文学家是勇敢的计算者，并不因为麻烦而退却。

从金星看日轮，直径是 44′，在一个恒星周期里并无显著的变化。金星从太阳所吸收的能量差不多等于地球所吸收的能量的两倍，换句话说，即相当于有两个像我们所看见的太阳那样一齐向金星倾泻它们的光和热。

我们现在证明金星也像水星一样常把它的半个球面对着太阳。它的恒星周期和自转周期因此同是 225 日。一个半球常暴露在热烈的日光里，另外那个半球在无尽的黑夜中。比起水星来，这两个区域的分划是很显著的，因为金星轨道的偏心率很小，天平动两边摆

动还不到半度。假使金星的大气相当透明，它上面的物体便可以投影在它的土地上，这些影子应当是固定的。假使从黑暗的半球去看星星，它们当是缓缓移动的，在225日里才绕一圈。因为金星的自转轴差不多和它的轨道平面正交，所以它上面就没有四季的区别〔近来有些科学家认为，金星轨道面和金星赤道面有32°的交角，因而认为金星也有四季的变换。——译者注〕，金星虽然是和地球最接近的一颗行星，可是它们却极少相似之处。

自从望远镜发明以来，金星的自转便成了一个热烈争论的问题，时常被人提起，下面在我们谈到金星的表面和它上面的斑痕与大气的时候，读者就会明白这些争论的原因。在望远镜里，最有经验的眼睛也只看出一些模糊的黑影，很难分辨出周围的轮廓。在这种情况下，因缺乏标志点，所以很难研究金星的自转。卡西尼早已表达了这个意见，他根据他在1666—1667年间的观测，作了这个结论："要用这个方法去决定金星是不是在自转，是白费精力的。"比扬基尼（Bianchini）没有像卡西尼那样悲观，他从自己1726—1727年间在罗马所做的观测中，求出金星的自转周期是24日。卡西尼重新整理全部观测，于1732年定出它的自转周期是23小时20分。可是，他却特别加上这一句话：即使用巴黎天文台最好的望远镜，在最晴朗的夜晚，根据1729年很多次的观测，马拉迪（Maraldi）和他自己在金星里都看不出任何显著的斑痕。

德国一位有名的观测者什略特，用大望远镜于1779—1795年间观测金星，迟疑了很久，才同意了卡西尼所说的自转周期。但在同时，天王星的发现人赫歇尔认为金星表面的黑影只是光学的幻觉，不能用来探测它的自转。

维科（Vico）神父于1839年在罗马又作了新的努力。这位有名的观测者虽然承认金星上的斑痕模糊不清，难以辨认，而且彼此很相似，难于分别，可是他终于将金星的自转周期定为23小时20分15秒，而且把它的赤道和黄道的交角定为53°11′。

意大利天文学家斯基帕雷利于1890年做了一个批判性的研究，他详细检查了前人的工作，说明它们都不可靠。我们之所以把这段研究的历史经过叙述一下，是为了使读者们明了这问题的困难性，根据现在的观测，许多天文学书籍把金星的自转周期写为225日，可是在这数字后面却加上一个问号。读者读了下面几节以后，可以自己决定是保留还是划去这个问号。

如果你把你的望远镜瞄准金星，一开始你就会感觉失望。在这颗行星的耀眼的圆轮或者娥眉上，你时常会看不见什么。在这一点上，金星和月亮、火星或者木星迥然不同。如果你偶然感觉看见了一些细节，那总是模糊不清的，可疑而难确定。人们所描绘的图形总是过分夸张，不合实际的。如果我们碰巧看见一个显著的标记，把它描绘下来，过了几

小时、一两天或者一两个星期以后，你时常会再发现同样的情况。这样的情况重新出现，可能是由于金星表面大气的周期性循环，更可能是由于透过金星表面的云雾露出的一点真相。但是人们所看见的总是恍惚不定、转眼消逝的现象。

但是，如果我们做了很多次这样的观测，这种在晴空所露出的真相可以表现金星表面的各个区域。将许多描绘图上的细节加在一起，我们可以绘出一幅相当完善的平面图，表示我们透过云雾推测出的这障幕下的一些情况。

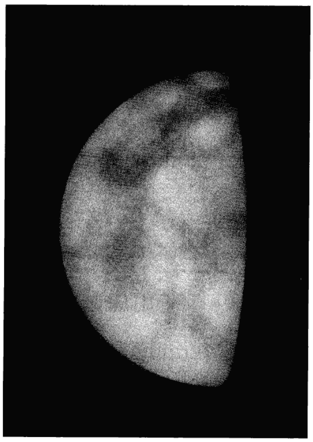


图 390　金星的素描图
1943 年 6 月 27 日至 29 日丹戎绘。

如果我们在几个自转周期里继续观测数日，作出一些这样综合的平面图，再把这些图平排在一张桌上，我们将为它们之间有奇特的相似（图 390）而感到惊异。这些综合图表现出同样的细节，它们对于金星的明暗分界处有一定的部位，而且对于它的轨道平面也有一定的部位。相隔数年，由几位观测者作出平面图，虽然这种观测有相当大的困难，彼此之间却很相合。由此可见，在金星的大气时常变化的幕罩下，似有永恒固定的形态。假设这些平面图真足以代表金星的表面，或者不如说代表表面大气所显露的一些区域，那么我们便该断定金星绕轴自转的周期是 225 日，而且它的赤道和轨道平面差不多是相合的。

金星自转极度迟缓，这由摄谱仪对它的速度的直接测量得到证明。我们在本书别的地方说过，当光源离开我们的时候，那光源的光谱中的黑线向红端移动；当光源向我们迎面而来的时候，这些黑线便向紫端移动。在行星或者太阳的情形下，星球绕轴自转，当某一边缘向我们接近的时候，另一边缘就离开我们而去。所以这两个边缘上所发出的光的谱线不在相同的位置上，对这些谱线位移的测量，便可求得所观测的星球的自转速度。有几位天文学家已经把这个方法应用到金星上去，如斯里弗（Slipher）、阿米（Hamy）、米洛舒（Millochau）、圣约翰、尼科耳桑等。他们都一致同意金星的自转只能是很缓慢的，这种运动的速度在它的赤道上绝不会超过每秒几米（如果如比扬基尼所说的，周期是 24 小时，这速度应是每秒 18 米）。所以，金星的自转周期不会是像地球或者火星那样，即不会是一天，甚至也不能是几天。分光的观测证明，这周期不会小于一个月。这个结果和由斑痕观测而得的 225 日的周期可以说是相合的〔根据 1961 年 5 月发表的苏联科学家对金星的射电天文的观测，求得金星的自转周期约为 10 日，但还不能确定。——译者注〕。

我们分辨这些斑痕并不需要很大口径的望远镜，因为一方面金星是一颗很亮的行星，

另一方面，我们要辨认而描绘的细节并不是很细致的，以致需要很大分辨力的仪器。观天的人如果有一具口径 12 厘米的望远镜便可以看见金星轮上的灰色部分了，并可以描绘下来和金星的平面图加以比较。这样，他们便可以每天认出金星大气里暗黑的区域和或多或少的不透明的区域，也可以看出云雾的分布和变化；这样，他们便成了研究行星上大气活动的远距离的气象学家。他们将会惊异地发觉，有时很均匀的云幕遮掩了一切细节，有时因稀有的晴朗又出现了大团的斑痕（图 391、392）。

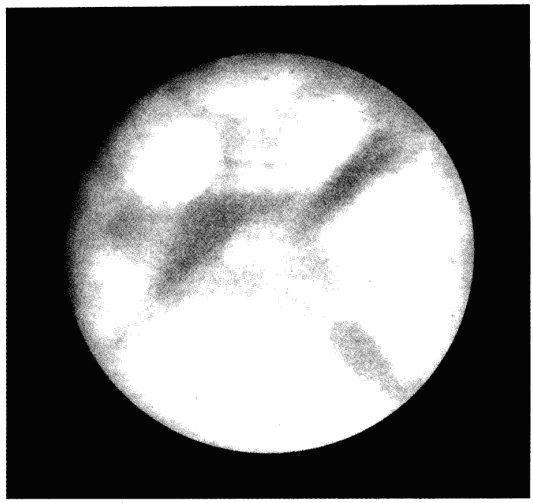


**图 391　上合附近金星的素描图**
1962 年 11 月 10 日丹戎绘于斯特拉斯堡天文台。

像水星的情形一样，金星在凸位相的时候最宜于观测。金星在娥眉形的时候，它的内边缘（明暗分界处）比外边缘要黑暗得多，这两个区域的反衬度比斑痕区域的反衬度显著得多，因此便降低了斑痕的能见度。所以，观测时间最好选择在很澄静的早晚，地上的大气稍微有一点扰乱，便把一切斑痕都遮盖住了。

有几位能干的天文学家努力拍摄了这些模糊的斑痕。这样需要使用反衬度极强的照片，还需设法遮掩明亮的部分，使明暗分界处的暗黑部分得以显露出来。图 393 便是带着斑痕的金星的照片。在图 387 每一幅图上，我们可以看见一些模糊暗淡的斑痕。这样的照片是很难拍到的，最早拍到的人当推弗拉马里翁天文台的凯尼塞（1921）。

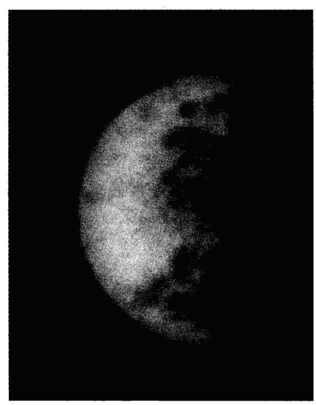


**图 392　金星素描图**
1948 年日中峰天文台多尔菲斯绘。

当金星下合又恰好在太阳的附近时，在晨光或者昏影里，它的娥眉相变得非常细窄，娥眉角伸长，远远超过半个圆周。金星的大气被日光斜照，透过它的幕罩散射日光，造成明亮的腰带。娥眉角合拢来，成了圆圈，如图 388 所表示的那样。在这雾气般的弧形上，有时显出明亮的疤痕，表示那里的大气有很密的云层，强烈地散射着日光。

如果我们使用滤光器，只允许紫外线去拍摄金星，它的大气便更加表现为有云雾遮盖

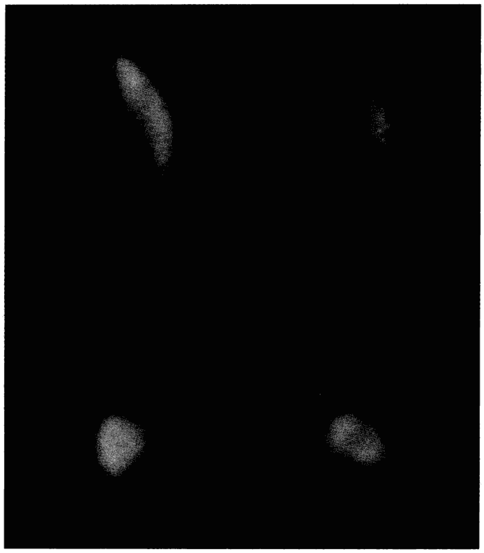


图 393　金星的照片表示星上的各种位相
日中峰天文台卡米舍耳拍摄。

和密集的区域。赖特（Wright）和罗斯(Ross)于 1927 年和 1928 年拍摄了这样的像，这些照片使金星呈现出一种新的面貌。图 394 表示它的表面上覆盖有明暗的斑痕。这里很明显地表现出明的和暗的两种物质错综在一起，形成强烈的反衬。这些块状物的形态变化很快，过一天就辨认不出，因此它们是属于大气里的云彩。这些幕罩属于金星大气的最高层，气象学家叫做对流层顶。那里散射着紫外线，所以在照片上显得特别明亮，在这些幕罩之间日光射进大气，短波辐射被吸收掉，所以照片上的黑色斑痕代表高层大气中显露出对流层的部分。因为可见光不如紫外线那样容易被吸收，可以达到低层大气的云雾里，又因为云雾的散光力强，行星表面的斑痕的反衬度因而大大减小了(图 393)。即使在高层大气里露出一片晴空，我们的肉眼也很难观看到金星的表面，我们只是透过雾气的幕罩看出一些模糊的斑痕罢了。

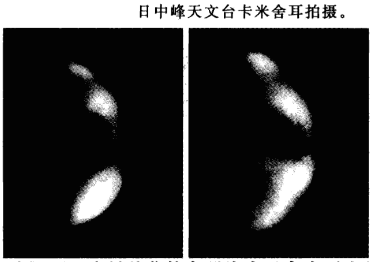


图 394　金星的紫外光照片表示它表面上的云彩
1928 年拍摄。

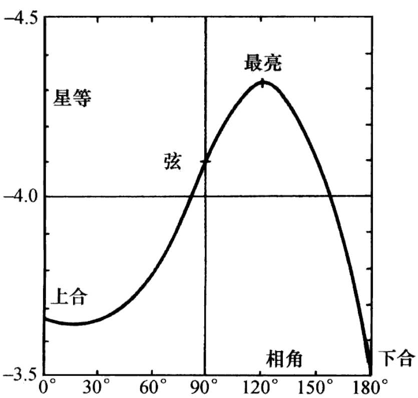



图 395　金星的视星等随位相角的变化

因为有了望远镜和照相镜，我们才知道金星具有密而厚的大气，那里演变着复杂的、变化无常的气象现象。关于这颗明亮的行星的光度研究，将给我们证明金星的大气是有云彩的。在一个会合周期里，金星光亮的变化是肉眼所不能察觉的，从上合到下合，人们总觉得它是一样的明亮。虽然距离从上合的 1.723 变到下合的 0.277 天文单位，会使亮度增加，但是同时位相逐渐变小，又减少了亮度。这两个相反的效应互相抵消到恰好的程度，使得金星在一个会合周期里亮度的变化不到一个星等(图 395)。在上合时，它的全轮迎面被日光照着，直径

只有 10″，星等是－3.7；当金星成了娥眉状，相角〔相角是在行星上看太阳和地球之间的角度(图 396)，故在上合时相角为零，大距时为 90°，下合时为 180°〕等于 120°，达到最大的亮度的时候，直径为 41″，星等超过－4.3；最后到了下合，我们看见金星变成直径为 1′的圆环，星等回复到－3.5〔读者也许会惊异为什么从地球上看，金星的星等是负数。星等的定义将在本书后面叙述，肉眼所能见的最暗弱的星是 6 等星，最亮的是 0 等或 1 等星。为了将更亮的星排在相同的光度标尺之上，应该把这标尺向负数方面推广。例如木星最明亮时星等达－2 5；满月达－12.7，太阳的星等是－26.8〕。

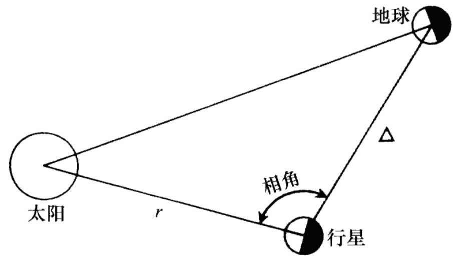



图 396　相角

金星表面散射日光比水星或月球还强烈得多。图 397 是金星表面快被月轮遮掩时的照片，我们可以看出，金星表面比娥眉月明亮得多。它的反照率很高(我们说过，反照率是行星反射的目光对于接收的日光的百分数，其余部分被行星的大气和土壤吸收了)。在一个会合周期的各个时期里，用光度观测去决定反照率需将行星与地球之间距离的改变所产生的影响加以考虑进去。如果我们以金星散射在太阳那个方向上的光量作为 100，下表便是它散射在周围各方向上的光量：

| 相角 | 散射光量 | 相角 | 散射光量 |
|---|---|---|---|
| 0° | 100(满轮) | 120° | 11 |
| 30° | 81 | 150° | 5 |
| 60° | 49(两弦) | 180° | 2(环圈) |
| 90° | 24 | | |

如果我们把这张表内的数字和月光随位相的变化加以比较，我们便会知道，在金星的情形下光线减少得很慢。我们说过，满月比弦月亮 12 倍，假使金星和地球之间的距离不改变，我们将看见，它在满轮时只比在两弦的时候亮 4 倍。因为在两弦时比在满轮时要近 2 倍，2 的平方是 4，所以距离的变化差不多刚好抵消掉位相变化的效果，正如我们刚才所说过的那样。



图 397　月掩金星
1921 年 7 月 2 日弗拉马里翁天文台拍摄。

图 398 的心形曲线是靠近太阳的三颗行星和月亮的散射指示图。一颗行星或者卫星的散射指示图

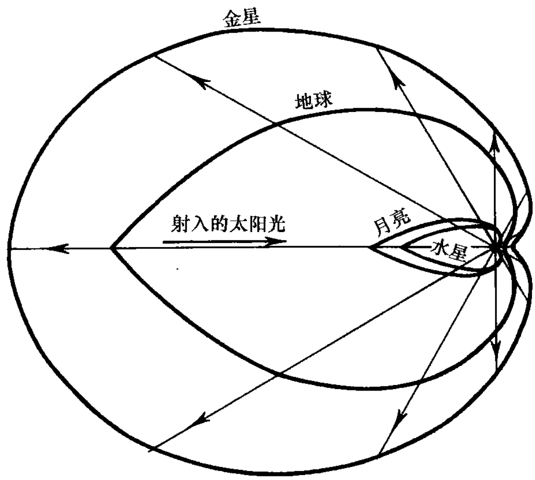


图 398　三个内行星和月亮的漫射曲线

是这样形成的：从一点起，沿不同的方向引出和该方向上的散射光量成正比的线段，这些线段的末端便描出指示图。这幅图在太阳的方向上总表现出一个尖点。为了使这三颗行星和月亮的指示图容易彼此比较，我们特别假设这四个天体和太阳距离一样远，而且有一样的直径。假使这四个天体是按照同样的方式散射日光，这四条曲线将变成一根。但是，事实上它们却是迥然不同的四条。作为一个散光体，地球不及金星，而且在各个方向上都是一样的。但是月亮，特别是水星，比起地球和金星来是很黯淡灰黑的。如果把金星比喻为一个白色大理石的小球，那么月亮像一粒浮石小球，水星像一粒火山熔矿。

我们还必须指出，当相角达 180°的时候，金星的光辉并不为零，虽然那时它以黑暗的半球对着我们，但是我们说过，它的大气被日光照射，呈现出一圈明亮的光环。

利用光度的数据计算出金星的反照率是 0.72。换句话说，金星吸收从太阳来的光线达 1/4 强，将其余的 3/4 反射到空间里去。水星和月亮反射给我们的光线少得多，地球因有一个稠密多云的大气，平均只反射入射光的 39%。所以我们认为，金星大气的压力可以和我们的大气压力相比，只是在金星的大气里有更多的散光质点。

利用具有各种滤光器的光度计去观测金星，可以确切测定它的颜色。我们由此得知它比太阳白一点，比月亮黄一点。我们不要忘记，地球是一颗蓝色的行星，而金星是黄色的，所以它周围的大气性质不同，很不纯洁，更多云雾。一切观测都归纳到这个结论，特别是我们在下面所要说的偏振观测。

图 399 是李奥所测绘出的金星的偏振曲线。这条曲线很类似于实验室里人工雾气中小水点所散射的光的偏振曲线（图中的虚线），所以金星的大气是由直径为 0.002 毫米的小水点所组成的，这些水点只及地面上积云里水点的 1/10。由这条偏振曲线还可以推出这种云雾的位置是在高层大气平流层的界限处。最近的观测还证明，在金星的娥眉上光的偏振情况的分布是不均匀的。在边缘和明暗分界处之间，在娥眉和圆轮中心之间，偏振是有奇特的变化的。偏振反常的斑痕生灭变化无常，出没没有定所。这样的演变表明金

星大气里有复杂的气象变化。

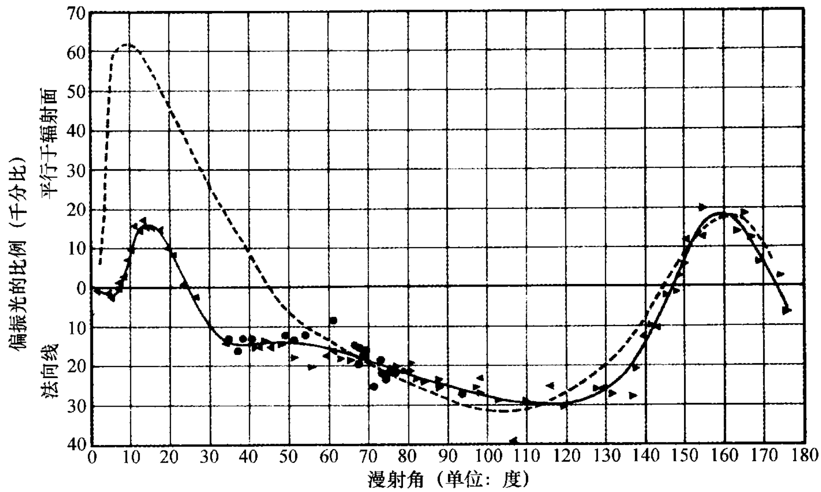



图 399　金星的偏振曲线(李奥绘)

事实上,金星大气和地球大气一样,被不断的运动所搅扰。这些空气团受到各种对抗力量的作用,总是在寻找平衡,却又从未达到过平衡:时而被吸引向上方,时而又被压迫到下面;有时牵引向北,有时被拖拉向南。但是,在这些湍流里有一条指导性的规律:金星对着太阳的半球接受的日光比地球接收的日光多一倍,被强烈地照射着。这样受热而膨胀了的空气上升到平流层,大气因空气升高而变得稀薄,于是按照绝热定律膨胀而变冷,终于使它所含的水汽凝结,而形成了云帘。现在,这些上升、变冷而且满含水点的空气被吸向黑暗的半球,这些水汽被一种相当有规则的气流牵引,越过昼夜分界的明暗界限处。这样的气团因骤然变冷而下落,于是黑暗半球的气体都被吸向下,这样被压缩了的气体又在下降时生热。这些黑暗区域里的寒冷还不足以使气体液化,固定在土壤上,因此运动仍继续不已。现在,靠近表面的一股迅速的风又把这些气团引到明亮的半球,重新把它带到热和光的环境里去。所以,这些气团是永恒地在热和冷、光明和黑暗、高层和低层中循环运动不息。

假使有一位飞行家上升到金星的大气里去,他将会看见他的气球按着这样奇妙的道路不断地在兜圈子。这位飞行家不能遇到像地球大气里那样复杂的运动,因为金星这个球体自转缓慢,离心力不足以使气团偏向;既无因昼夜循环而使气温有升降,又无冷热的交换以破坏平衡。金星的大气里也许只有规则的对流运动。

利用温差电偶可以测定散光云层里大气的温度。这种精细的观测于 1924 年年初曾被柯布伦茨和兰普兰德以及帕蒂特和尼科耳桑做过。在被太阳照亮的半球上,金星的温

度平均达到 66℃。在赤道上，太阳垂直照下，这温度甚至可达到 95℃。自然，在这样高度稀薄的大气里，水应当是在蒸汽的情况下，所以我们所看见的云并不是由水所形成的。这种云的结构到今天还是金星物理学的一个谜。

在另一半黑暗的金星半球里，温差电偶测出的温度是－30℃。那里的热量是气团从明亮的半球里带过去的，这些气团是被大气的对流所推动。

在结束这一章以前，我们还要谈一谈金星的光线在分光镜里的研究。金星光线的可见部分被分解以后，表现出类似于日光的吸收光谱，但没有发现新的谱线。但是，在光谱的红外部分出现了一些吸收光带，是我们在太阳光谱里所没有遇见过的，所以它是由金星大气里的特殊组成部分而带来的。根据这些吸收带里谱线的分布，我们辨认出这特殊的成分是碳气($CO_2$)。借实验室内试管里的压缩碳气，可以复制出这种吸收光带。光线经过这种很长的试管，可以表现出像金星光谱里那样的吸收光带。在标准气压下，需要 400 米长的碳气方能复制出像金星光谱里那样浓的吸收光带。这种成分，超过地球大气的 1/20，比我们周围空气里的含量已多了 160 倍。

分光镜还不能辨认出金星大气里的其他成分，其中也许有氮、氩、氦、氢等气体。金星里好像没有水汽，最奇怪的是，观测者查不出有氧气的迹象。

碳气的含量逐日地随位相变化而变化。事实上，这是因大气不断运动，扫荡云幕，揭开或者掩蔽了大气变化的层次，随着这种演变还可能有风暴现象发生。

金星上可能有生命吗？要回答这个问题，还必须有别的现象作为说明的指导。根据现有的对金星的观测，还不能得出积极的启示，聪明的办法还是承认我们的愚昧无知吧。




图 400　**维纳斯，代表金星的神**

根据古木雕图。

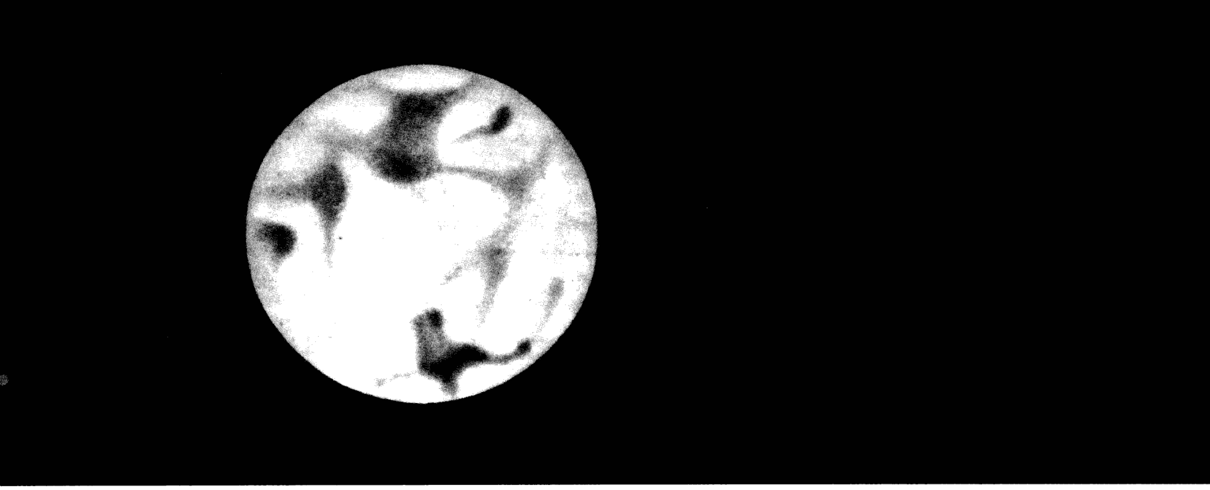


图 401　火星和它的两个卫星〔富尼埃(Fournier)描绘〕

# 第二十九章

# 火星——小型的地球

每当夜半火星在黄道星座里升上天穹的时候，它那红色的光辉好似远方的火炬，立刻引起人们的注意。虽然它冲日的机会不如木星、土星等那样多，但是它却比别的行星更为著名。参观天文台的人们总喜欢向天文学家问："火星上有人吗?"无疑，由伟大的发现所展示出来的宇宙，人们是感兴趣的。但是这些只能影响人们的精神，因为人们有群居的习惯，所以谈到月亮上和行星上有没有人居住这一类的问题，能使他们感兴趣。虽然人类在这世界上已经十分众多，可是如果别的星球上没有人居住，他们还会感觉寂寞的。假使火星上没有人，还有什么星球上会有人呢?

火星是小型的地球，好像故意放在我们的眼前，给我们作比较似的，火星和地球相似之点很多:同样的自转形成昼夜，同样的公转形成四季，同样有固定的形态，可根据它来绘制地图，同样有气象的变化，同样有山川随季节而变色，同样的在极地上堆积着冰雪。这一切都足以使这颗近邻的行星成为我们最近的亲属。根据比较推理的方法，更进一步，我们便可断定火星上具有有机体的生命。在 20 世纪初只有愁闷的人才怀疑火星上有动物和植物的存在。法朗士(France)小说里的贝惹雷(Bergeret)先生想到地球上的可怜情况

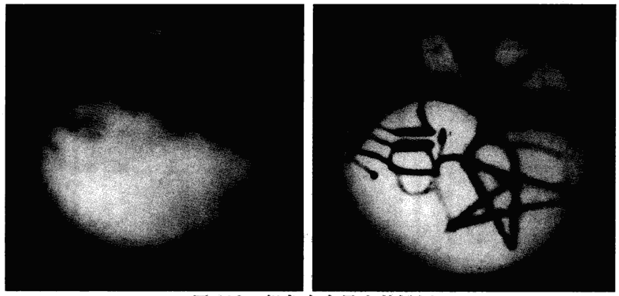


图 402 **想象中火星上的运河**
左边是照相图，右边是同一区域由强烈主张有运河的人所描绘出来的图画。

说道："我以为有机的生命是这颗可怜的渺小的行星上的一种罪孽。我一想到在无限的太空里，这些生物吃别的而且又被别的吃，真是不胜悲苦。"但是过一会这位先生因为一种没有料到的原因，高兴地又问道："火星上的生物是不是更美丽一些，他们的智慧是不是更高级一些？"法朗士所创造的这位角色真是一位哲学家，随他的兴致，时而相信，时而怀疑火星上有人居住。

对于火星上的情况，现今所做的研究还不能够解决这个疑问。我们有理由说，地球上最高等的像人类这样的生物，一旦放到火星上去，便会立刻死亡。但是这不等于说，有机的生命不会以另外的形式出现，并和别的行星上的温度、气压以及大气里的化学成分相适应，并发展、演变而且绵延永存。以后我们要举出种种迹象说明火星上有植物的存在。现在我们对于这个问题，谨慎的办法是不否认也不承认。

虽然关于火星上有无生命的问题，前人做过不少的工作，不幸的是许多研究者所付出的热情多于理智，因此对于后人的工作没有什么帮助。1877 年火星冲日的时候斯基帕雷利声称在火星上发现了运河，这问题经过长久的热烈争辩。这位意大利天文学家在火星上的明亮区域里，看见或者以为看见一些具有几何形状的、纠缠不清的细线，而且在有些时候分裂成双线。在有思想的人看来，这些线纹是一些复杂结构的轮廓。斯基帕雷利所绘的直线式的线条，在人们眼里只是边缘模糊的宽带，或者说一长串无规则的斑痕。斯基帕雷利的崇拜者更进一步把这些细纹当做是运河，而且是火星上有思想的生物挖掘的用于灌溉广大沙漠地带的运河。这些极端派不断地发现新运河，于是火星图上出现了分辨不清楚的运河网。由于这种伪科学的提倡，于是"火星人"便进入了文学的领域，直到今天还流行着。

但是真相迟早总是要暴露的。当 1907 年、1909 年火星冲日最好的情形时，在旗杆镇、威尔逊山、叶凯士、日中峰等天文台都拍摄到火星的很好的照片，证实了用默东天文台大望远镜所做的肉眼观测，大家对于火星上的真相才有一致的认识(图 403 至图 405)。现今天文学家对于这些形态上不规则的轮廓都认为是自然力量的表现，而不是由智慧生物所产生出来的工程结构。

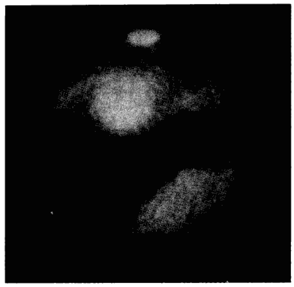


图 403　火星的沙海区
1909 年 9 月 28 日巴纳德拍摄。

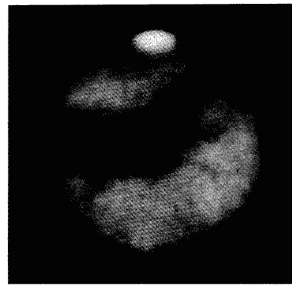


图 404　火星的黎明湾区
1909 年 9 月 23 日洛威尔拍摄。

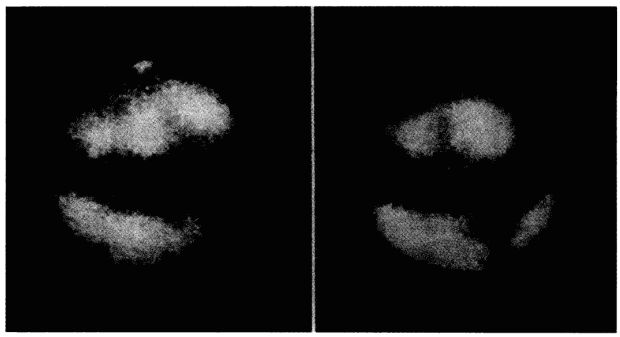


图 405　火星
左图：西尔鲁门海与梦海区；右图：两小时以后的沙海区（1909 年 9 月 27 日日中峰天文台拍摄）。

在叙述火星的物理情况以前，我们先谈它绕太阳的公转和绕轴的自转。火星的轨道不及水星轨道那样的椭长，可是比地球的轨道椭长得多，原来火星和太阳之间的距离，由近日点的 2.07 亿千米，而至远日点的 2.49 亿千米。这样椭长的轨道和以长轴为直径所作的圆相差很大，在短轴的顶点处这差异可达 100 万千米之多。根据第谷的精密观测，开普勒才寻出这种差异，因此一向被人认为是正圆形的行星轨道经开普勒发现为椭圆形了。

每年 8 月 29 日地球经过太阳和火星轨道的近日点之间（图 406）。如果那时候火星正在近日点，那么我们便可以观测到一次近点冲（大冲），火星距离地球便只有 5 600 万千米。火星在宝瓶座内大放光明，在望远镜里它那染有斑点的红色圆轮，视直径只有 25″。那时火星整夜可以被看见，给我们以最好的观测机会。自然，火星很难得刚好在近日点相冲，1956 年 9 月 10 日那次冲日是 20 世纪里最好的机会，和近日点非常接近。

如果 8 月 29 日火星不在近日点，而在太阳的那一面正相反的一点，于是发生远点合，火星和地球的距离达到最大的数值 4 亿千米。它的圆轮小至 3″.5，因其靠太阳太近，几个月内人们不能看见它。

每 2 年零 2 个月火星冲日一次。它的恒星周期是 1 年零 322 日或者说 2 年少 43 日。它的会合周期是 2 年零 50 日（780 日），这是大行星中会合周期最长的一个。事实上继续两次冲日中间所经历的时间与 780 日相差很多，因为火星轨道的偏心率大，在近日点附近两次相冲的间隔只有 764 日，而在远日点附近两次相冲的间隔可达 810 日。

根据上述可见，最宜于物理观测的冲日是在 8 月和 9 月里的冲日。那时火星对着我

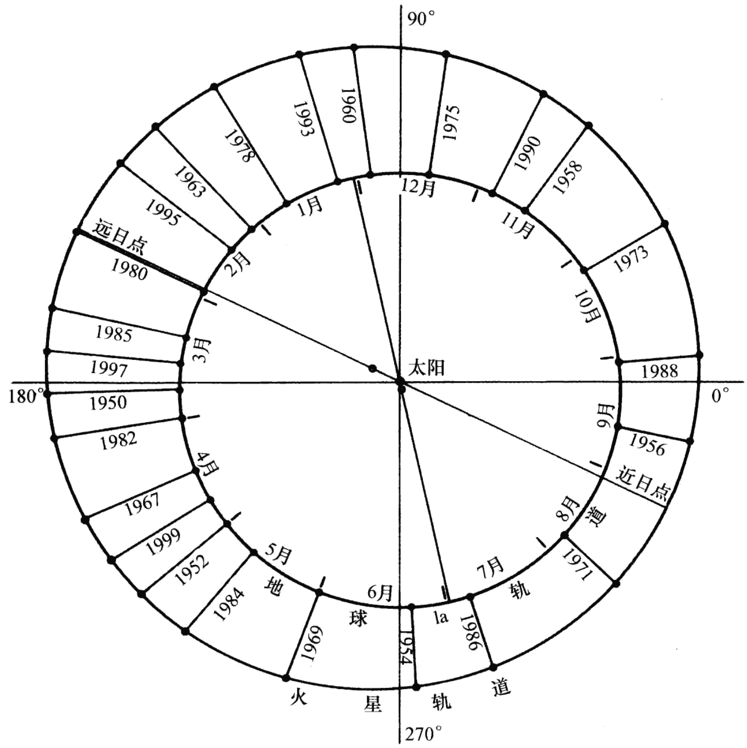



图 406　火星的轨道同它自 1954 年至 1999 年间的相冲的位置

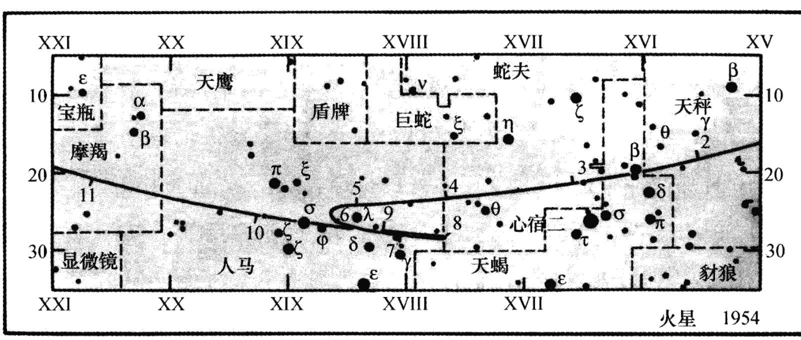



图 407　1954 年火星冲日的行踪

取自《弗拉马里翁天文年鉴》。

们的正是它的南半球。当远日点附近的冲日恰好在 2 月和 3 月里的时候，火星和地球的距离至少有 1 亿千米，圆轮的直径只有 14″。那时它以北半球对着地球，无怪乎我们对于火星南半球的形态比北半球更清楚些。在各次冲日的时候，火星表现出的变化是由它的

轨道偏心率大所造成的。前几次火星冲日的日期是：1941 年 10 月 10 日，1943 年 12 月 5 日，1946 年 1 月 14 日，1948 年 2 月 17 日，1950 年 3 月 23 日，1952 年 5 月 1 日，1954 年 6 月 24 日，1956 年 9 月 10 日，1958 年 11 月 16 日，1960 年 12 月 30 日等。由此可见每隔 15 年，冲日的日期大约再回到每年中与前次冲日相近的日期。可是 15 年的周期并不能用来确切地预言未来的冲日的日期。还有一个 79 年的周期更加确切得多，例如 1877 年 9 月 5 日和 1956 年 9 月 10 日的两次冲日，但这周期太长又不大适用。读者可在下表内去寻求 15 年和 79 年的周期，其中包括 1862 年至 2018 年之间的各次的近点冲日：

| 1862—1877—1892—1907 |
|---|
| 1909—1924—1939 |
| 1941—1956—1971—1986 |
| 1988—2003—2018 |

自 1950 年至 1999 年间，所有的火星冲日都表示在图 406 上。

因为外行星不会在太阳和地球之间经过，我们绝不会看见它们呈现娥眉或弦月的形象，它们的位相很不显著。这是很容易证明的事：在上下弦，即三角形 $STM$ 在地球 $T$ 处是直角的时候(图 408)，相角 $SMT$ 变为最大。对于火星来说这个相角绝不超过 46°，它的凸形圆轮的形态等于满月前后 3 天半的情况。这种情况容易在爱好者的望远镜里看见，伽利略虽然想到有这种现象，而却没有亲自看见过。

如果以地球的直径为 1，则火星的直径是 0.53，合 6 760 千米。它的质量是地球质量的 0.11。所以火星的平均密度比地球的要小一些，只为水的密度的 3.8 倍。地球上的物体迁移到火星上去，因引力较小的缘故，约失掉它的重量的 2/3。

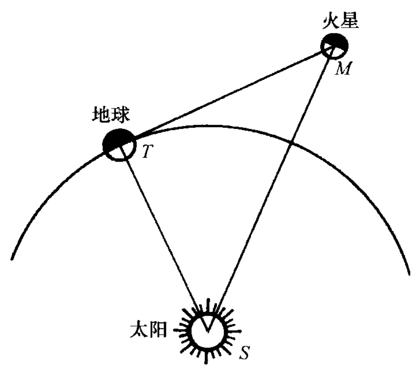


图 408　火星的最大位相

火星绕轴的自转周期，我们知道得很清楚，因为它表面上的斑痕既明显而界限又很清晰，于是做成了很好的标志和记号。1659 年惠更斯首先观测了这些标志，定出火星的自转周期大约是 1 天。1666 年卡西尼定它为 24 时 40 分，已是很接近的数值。根据 300 年来人们所绘的火星的图画推出的确定数值是 24 时 37 分 22.7 秒(地球的自转周期是 23 时 56 分 4.1 秒)。我们容易算出火星上的一个太阳日是 24 时 39 分 35.3 秒。火星上的一年有 668.6

个太阳日。如果火星上有人，他们需要一种太阳历的话，这历法应当在每5年内有两年是668日，三年是669日。

因火星的两极有耀眼的白色雪帽，这样便使我们容易测定它的赤道和它的轨道平面中间所成的角度，这等于地球的黄赤交角。卡米舍耳(Camichel)根据日中峰天文台的照片所做的测量，求得火星的公转面和自转面的交角是24°48′，比地球的黄赤交角(23°27′)稍大一些，所以四季在火星上比在地球上更要显著一些。就北半球而言，热的季节(春、夏)有371个火星日，冷的季节(秋、冬)只有298个火星日，这是因为轨道有相当大的偏心率的缘故。对于南半球来说，这两个数字必须互相交换，初看去这好像对于南半球有些不利。但是在火星上也像在地球上一样，这种现象是可以得到补偿的，因为在短的季节里行星接近近日点，从太阳接收的光和热比较多一些。

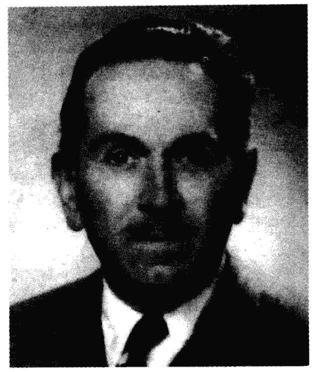
火星作为一个球体，在望远镜里看去，不像个扁球却像个长球，这是因为它有位相差和两极有白冠的缘故。但是根据极精细的测微尺的测量，火星的扁率是0.01，比地球的扁率约大3倍。由于这个扁率，太阳对于火星赤道凸出部分的摄引作用，使火星的自转产生一种缓慢的运动(岁差)。对于地球而言，月亮的岁差是太阳的岁差的2倍，但是对于火星而言，便没有由它的月亮而来的岁差，因为火星的两颗卫星只是不足计较的小石块罢了。

因为火星的两颗卫星实在很小，所以一向没有被人看见，直到1877年在它们最好的冲日的时候，霍尔(Asaph Hall)才用当时最大的(口径66厘米)装在华盛顿天文台的望远镜发现了它们，对于一向主张"火星没有卫星"的天文学家说来，这真算是晴天霹雳。对于文学家说来，却没有这样惊异，因为斯威夫特(Swift)和伏尔泰(Voltaire)在他们的幻想小说里早已说过有这两颗小月亮了。

在《格列佛游记》〔少年儿童出版社有节译本，名叫《小人国和大人国》(1956)；人民文学出版社有该书全译本(1962)。——校者注〕里有关于拉普塔地方的天文学家那一段记载："他们就这样在火星的周围发现了两颗卫星，最近的一颗与火星中心的距离是火星直径的3倍，另外一颗的距离是这直径的5倍。近的一颗围绕火星转一周需要10小时，远的需要20.5小时，因此它们周期的平方差不多同它们到火星中心的距离的立方成正比。这样便证明了这两颗卫星所受的吸引力和别的天体所受的吸引力遵循同样的定律。"

再翻开伏尔泰仿效斯威夫特的《格列佛游记》而写的《米克罗梅加斯》，那本幻想小说的第三章有这样一节："他们从木星里出来，经过了大约1亿里长的空间，就沿着火星飞行，我们知道这个星球比地球小5倍(原文如此)。他们向这颗行星的两颗月亮靠拢，这两

颗月亮是我们天文学家从来没有看见过的。我很明白卡斯德耳神父一定反对有这两颗月亮，但是我这句话是对那些用比较推理的方法思考的人说的。这些哲学家们知道火星离太阳那样远，如果没有两颗月亮那是难以想象的。不管怎样，我们的旅行家觉得那里太小，小到没有下榻的地方。"自从霍尔果然发现了这两颗卫星以后，伏尔泰在他总结时所作的讽刺已失掉了它的尖锐性。

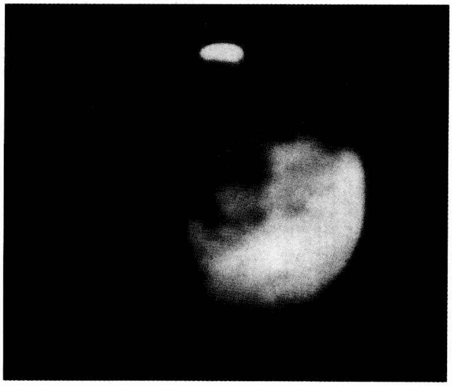

图 409　李奥(1897—1952)

火星的两颗卫星被人命名叫福博斯(战栗)与德莫斯(恐怖)，这是从荷马的《伊利亚特》第十五章内的两句诗而来的，这两句诗叙述战神从奥林匹亚山降到地面来替他的儿子阿斯卡拉弗报仇：

他命福博斯和德莫斯驾马，
他自己穿上金光夺目的甲胄。

火卫一(福博斯)与火星中心的距离是火星直径的 2.8 倍(不是斯威夫特所说的 3 倍)，约合 9 350 千米。它的直径只有 15 千米，在我们的望远镜里这是一颗差不多看不见的星点，沉没在火星的光辉里。这颗卫星绕火星公转比火星自转还要迅速，这一点却被斯威夫特猜中了，它的公转周期只有 7 时 39 分。因为火卫一具有这种异常的速度，所以它的周日运动也是反常的，它和恒星、太阳以及火卫二的方向相反，从西方升起而向东方落下。它的位相变化很迅速，从西方出现时还是一弯娥眉，像新月时的月亮一般，中天时业已是满月，在还没有落到东方地平线之前，它又表现成娥眉的形状了。

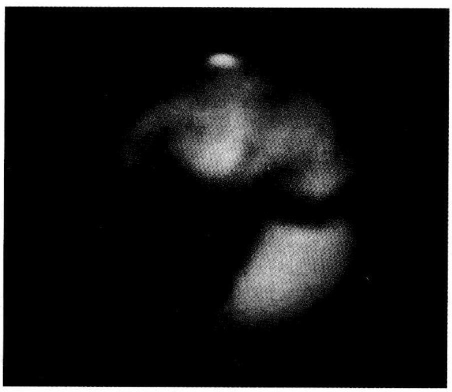
火卫二(德莫斯)的直径只有 8 千米，还不及火卫一明亮，但因它离火星较远，便于观测。它与火星中心的距离是火星直径的 6.9 倍，约合 2.34 万千米。它的公转周期是 30 时 18 分，比火星的自转周期稍长一些。火卫二在火星的天穹上运行，和火卫一的方向相反，像太阳和恒星一样出于东而没于西，但在火星的天空中运行很缓慢，它在火星上一定地方的地平线上停留 64 个小时(火星时)之久。在这期间太阳已经出没了两三次，那里可以看见这颗卫星继续盈缺了两次之多！虽然火星和地球有许多相似之处，可是在卫星这一点上，它们却相差得太大了。



9月 17 日，76°



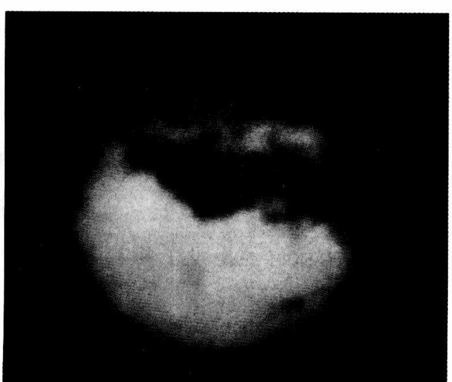
9月 23 日，28°



10月 8 日，300°



10月 8 日，247°



10月 12 日，175°



10月 19 日，129°

**图 410　1941 年火星冲日的照片**

李奥等拍摄于日中峰天文台，图上附有拍照日期与中心线的经度。

因为我们不能从所有的位相去看火星，它的反照率的计算便不如水星和金星那样的精确，但是比现在公认的数值 0.15 不会差到百分之几。火星的反照率是微弱的，换句话说火星很能吸收日光，只漫射出一小部分。火星的反照率在有大气的地球与金星和无大气的水星与月亮的反映率之间。这个可贵的指示说明火星上的大气虽然不及地球上那样丰富，但是有足够的分量以形成气象的变化。

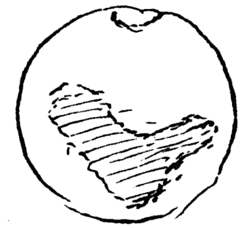


**图 411　沙海区域**
1659 年 11 月 28 日惠更斯绘。

现在我们谈谈火星上的“地理学”或者火星表面学。自从三个多世纪以来，火星上的斑痕的一般形态没有什么变化。1659 年 11 月 28 日惠更斯所描绘的火星的图画（图 411），上面的沙海（参看图 422 火星的平面图）与极冠已具有和今天一样的特征形象。惠更斯和卡西尼创立了火星表面学，但是直到 18 世纪末才后继有人。

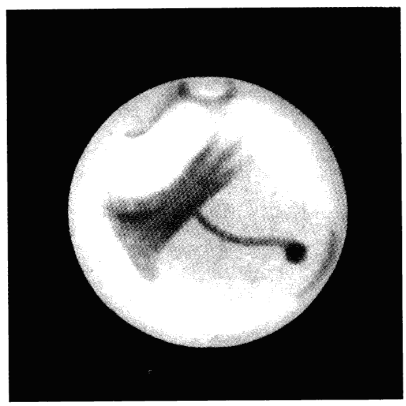


**图 412　沙海、沙湾和子午线湾**
比尔与马德勒绘于 1830 年 9 月 14 日。

从 1830 年比尔（Beer）和马德勒（Mädler）的观测（图 412）开始了一个活跃的时期，至 1840 年他们首先绘成了一幅火星的全图。这虽然还是一幅略图，但已经像地图上那样有经纬线的背景。他们把所看见的很清楚、很圆的一个小黑点作为经度的起点，在一个比较大的望远镜里这一点却成了叉形，今天便取这叉形的尖点作为火星表面经度的原点，读者可在火星的平面图（图 422）上沙湾的末端去寻找这个黑点，这里现在叫做子午线湾。

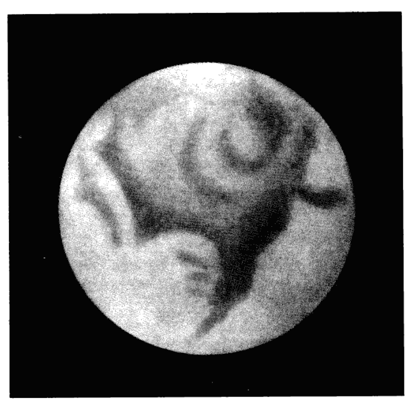


**图 413　沙海**
洛基尔绘于 1862 年 10 月 3 日。

1876 年弗拉马里翁在他所著的《天上的地球》里的那幅火星插图较之比尔、马德勒两人的火星图已经复杂得多了，因为这幅图已经绘上塞奇、道斯（Dawes）、洛基尔（Lockyer）、凯泽（Kaiser）和弗拉马里翁本人所发现的一切形象。自从那个时期以来，人们开始发现火星斑痕的形态和颜色随季节的转移均有显著的变化（图 413、414）。

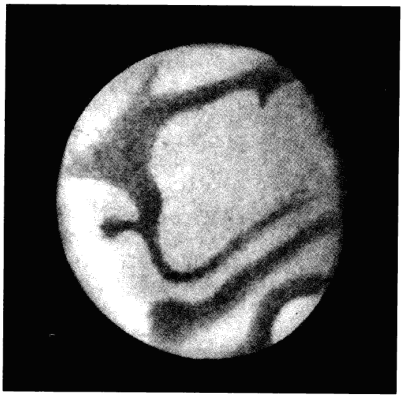


图 414　沙海
弗拉马里翁绘于 1873 年 6 月 29 日。

采用和月面命名类似的方法，火星上明亮红色的区域叫做陆地，暗而绿或棕色的区域叫做海洋，但是我们对于这些名词却不应该望文生义，它们所代表的真实情况如何我们还全无所知。塞奇更把这些名词推广，将灰暗的椭长的区域叫做海湾，他没有想到这样会引起下面要说的一个小小的革命。

1877 年火星的近点冲日给弗拉马里翁、特尔比(Terby)、格林(Green)等热心观测火星的人以一个验证黑斑变化的机会。也就是在这一年斯基帕雷利宣布有所谓纤维状的海湾或者运河的存在，这些运河横贯大陆、连接海洋。我们已经说过，这种见解已被另外一些观测者所否认，判定它不符合事实。他们说有些运河只是色调不同的区域的分界处，有些相当整齐的线条只像模糊的擦笔画痕，真实的结构并不表现在望远镜的成像上，特别是在目镜的倍率过大、成像不太光明和大气相当动荡的时候。

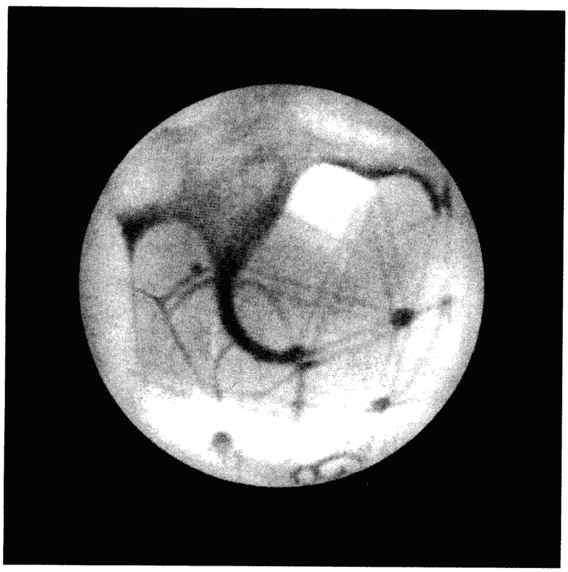


图 415　火星上的运河，其中有两条平行的运河
1888 年 6 月斯基帕雷利绘。

1882 年斯基帕雷利再度宣布他的发现以后，这场争论更尖锐化了，他说："在有些季节里，这些运河变成了双行的(图 415)。在一条线的左右看出了两条平行线，中间相隔约 350～700 千米。"这位米兰的天文家更说："在地球上没有类似的现象，一切都使人相信那是火星上的一种特殊结构。"更进一步的主张，便有一些人说："这种特殊的结构是火星上的人为了农业而建修的水利工程。"

这些奇特的现象引起了很多人的注意，甚至可说是引起了太多的人的注意。如果仔细研究一下自 1882 年至 1909 年间所绘的图画，便会使你感觉到这些观测者太缺乏判断的精神。弗拉马里翁介绍了一位热心观测者的工作之后，说道："我们迟疑不敢刊布这张平面图，因为作者的主

观色彩过于浓厚，描绘出那么多条运河，使人感觉这不是真实的情况。例如沙隆提三角地(参看图 422)在西梅里门海的下方成了 17 条运河的中心，从西尔鲁门海的尖角再射出 9 条扇形的运河……这真是未免太多了吧！显然这些都是达到视力的极限，甚至是超过视力所能见的现象！”

忠实的观测者为什么会犯这种理解上的错误呢？对行星的肉眼观测是一种艺术，外行人不会想到那上面的重重困难和种种陷阱。首先可以想象火星的圆轮是那样的小，即使在冲日的时期，使用放大率为 500 倍的透镜从望远镜里看去，在远点冲时它只有肉眼所看月亮的 4 倍大，在近点冲时也不过是 7 倍大。要想把这些直径加倍，需使用 1 000 倍的放大镜，那么便需要异常优良的大气情况。

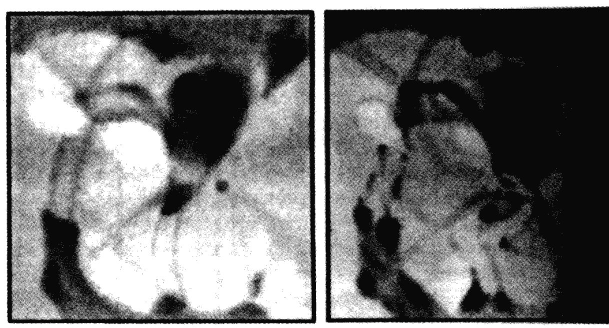


**图 416　沙海(1948 年多尔菲斯绘)**
当观测的情况不好的时候，我们以为看见了线条，并且以为是几何形状的运河(左图)。观测情况好转的时候，这些现象就不见了，出现的是复杂的斑点结构(右图)(日中峰天文台)。

况且对于一种望远镜，放大率超过某种限度，便会危险地减弱象的亮度，不但不能增加象的细节，而且反使原来不太明显的斑痕看不见了。事实上望远镜的分辨力，即判别行星表面上相邻的细节的能力，不随放大倍率而变大，乃随物镜的口径而增加。例如 60 厘米口径的望远望，可以显现 20 厘米口径的望远镜所不能看见的行星表面的结构，因为口径大 2 倍的物镜可以分辨小 2 倍的结构。就是因为这个缘故，斯基帕雷利在他的望远镜里以为看见了纤维状的运河，而别的使用较大口径的望远镜的观测者却只看见一些灰暗模糊的斑痕，凌乱得没有丝毫几何结构。这样的一位观测者在大望远镜面前，有人问他看见运河的情况怎样，他惶惑地答道：“这里的望远镜太大了，显现不出运河来！”

因低层大气的动荡，星象摇摆不定，大大地影响对行星表面细节的观测。所以天文学家总喜欢把望远镜放在高山上适宜于观测的地方。例如洛威尔的天文台在旗杆山，雅里-德洛日(Jarry-Deologes)在塞提弗山，李奥在日中峰等。也许没有一个地方能够完全免除大气的骚扰，但是上面所说的这些高山天文台，每年总有一些晴朗澄静的夜晚以供观测者利用。

最后，不要忘记观测者各人有各人的个性。即使在同一架望远镜上训练出来的两位

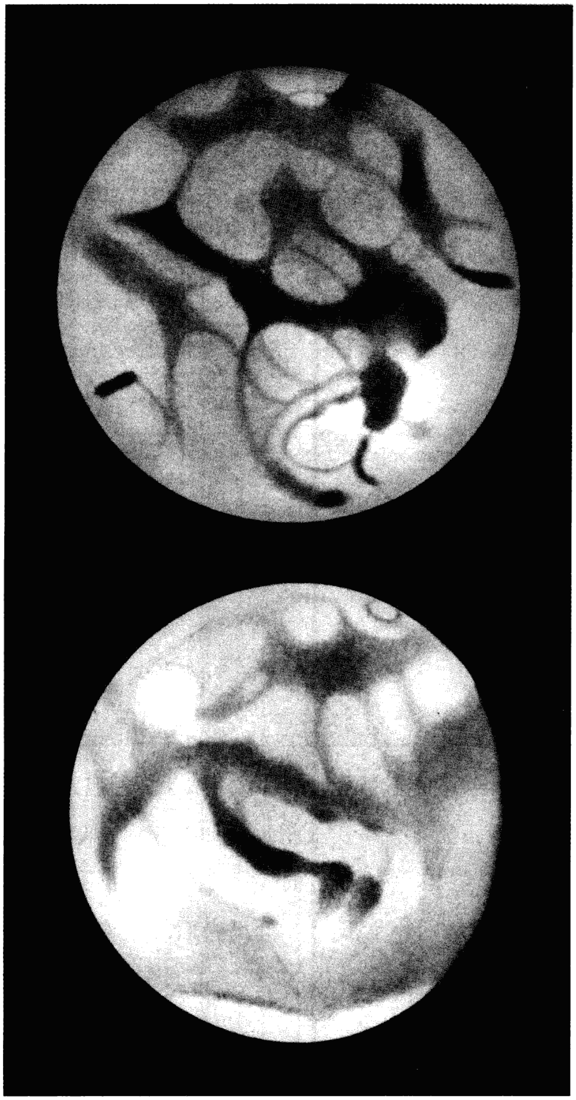


图 417 火星图

上图:提尔鲁门海和沙海,1924 年 9 月 1 日;下图:沙湾和贞女箍(1926 年 12 月 25 日富尼埃绘)。

专家,对于行星的视觉也不会是一样的,他们所描绘的图,至少在细节上还是有差异的。视觉虽然是五官中最完善的一个,但作为光学系统而言,眼睛却是有缺陷的。况且由眼睛的感觉而表示为图画,经过两个步骤,意识在这里起了很大的作用,特别是观察的对象很微小,接近于视力所能够分辨的极限情况的时候。观测者在望远镜面前目视手描的时候,应该忘记一切,只绘出他所看见的,否则成见和记忆会不自觉地支配握着铅笔的手指。

肉眼观测绝不能免掉主观,假使没有照相观测,火星上是否有运河的争辩,将会成为不能解决的问题。照相底片作为像的接收器还不及人的视神经,可是底片的制造在不断地进步。当大气情况优良的时候,使用日中峰上 60 厘米口径的望远镜可以分辨反衬度强、角距只有 $0''.2$ 的两个斑痕。在近点冲时,这距离相当于火星地面上的 60 千米。在用这望远镜所拍的照片上,分辨力的极限很少小于 $0''.3$ 的。所以在这一点肉眼观测有它的优点,但是照相观测所留下的记录不但是客观的,而且是永久的,可以在闲暇时再拿出来研究。这却是照相观测的无比优越性。

斯利弗在洛威尔天文台首先拍得的一套火星照片,表现了它的大量细节。斯基帕雷利所说的运河在照片上只是模糊的一大片,并没有几何形的网状结构。在 1909 年拍得火星的

美丽照片的观测者有叶凯士天文台的巴纳德，日中峰天文台的普吕维内耳和巴耳代等(图 403、图 404、图 405)。

照相底片上的感光粒子破坏像的清晰和细节，是必须设法清除的。李奥首先使用组合成像法解决了这个问题。在同一张照片上，用极短的露光时间，把行星的像照上许多次，在印正像的时候，把这多幅负像一并印上。方法是利用一系列的标志系统，将各负像上相同之点恰恰重合，连续地把负像投射在感光片或感光纸上。定影之后，我们所得的行星的正像完全免掉粒子的影响，很微小的细节也清晰地显现出来。

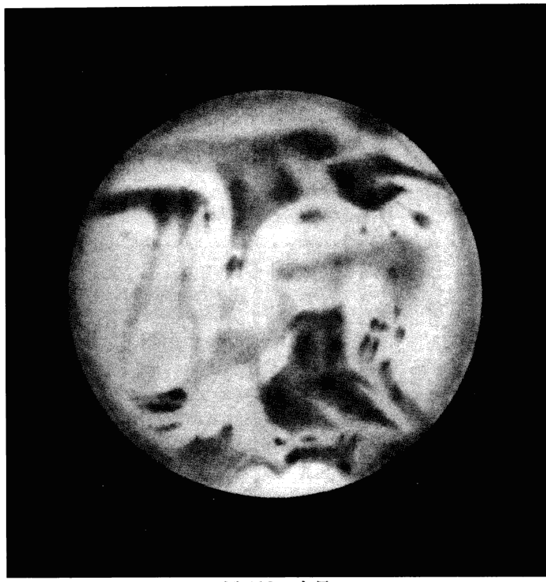


**图 418 火星**
黎明湾和酸海，1948 年 2 月 8 日多尔菲斯绘。

图 419 是火星上同一区域提尔鲁门海和埃利西恩区于连续 5 次冲日时(1941 年、1943 年、1946 年、1948 年和 1950 年)在日中峰所拍得的照片。在连续 2 次冲日的照片上，火星的表现大不相同，视直径的大小、自转轴的方位、圆轮中心的纬度等都改变了，可是除了透视效应不同之外，斑痕的一般状态仍然是一样的。

但是仔细研究也可以发现在某些区域上浓度和形式有变化。弗拉马里翁首先指出这样的变化，在相隔一两个月所拍的照片上已经看得出来。有些是由于季节的改变，有些是因偶然的事故。在小的望远镜里显现的均匀黑暗的一片斑痕，被人叫做海，它在大的望远镜里便分成无数很小的、不规则的黑点。因为这群黑点中有一些变淡或者变暗，才使所谓

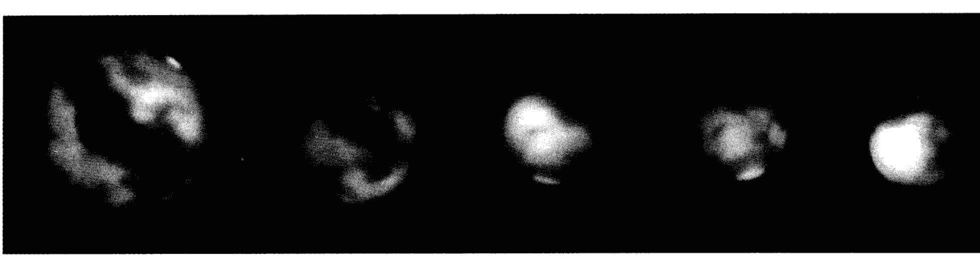


**图 419 火星上同一区域在连续 5 次冲日时的照片**
连续 2 次相冲，火星圆轮的直径发生变化，极轴沿逆时针方向转动，中心的纬度由南纬变为北纬，斑痕也发生了变化。这 5 张照片拍摄的日期分别为：1941 年 10 月 8 日，1943 年 12 月 2 日，1946 年 1 月 25 日，1948 年 2 月 15 日，1950 年 4 月 7 日。

“海”的轮廓或色调发生改变。

这些区域里有一点最令人感兴趣，它是太阳湖。这个“湖”在差不多圆形的明亮区域的中心，很像一个大眼睛里的瞳孔。很久以来就有人注意到那里有奇特的变化(图 420)。组成这个“湖”的斑痕在 1926 年显现为绿色或褐色，但是在西南方的一颗暗点却以它的朱红色而引人注意。更南一点的南海是黄绿色的，非常美丽。



图 420　太阳湖的变化(丹戎绘)
左图:1924 年 8 月 11 日;右图:1926 年 11 月 15 日。



图 421　火星上逐渐缩小的南极冠

火星的两极区域带上白色的帽子，叫做极冠，1659 年已被惠更斯发现了。极冠发展到相当大的时候，用小望远镜也可以看见。在火星上的春分或秋分的日子里，极冠在黑影里凸出，直径长达 3 000 千米，上面有一些部分盖着云雾，季节变化时便渐渐散开。极冠本身渐渐变小，到了夏季快完的时候，它的直径缩小到只有 100 千米(图 421)。那时候冬季来到，云雾重新侵袭这一区域，在极区漫长的黑夜里，云雾也许仍然留在那里，同时极冠重新扩大，再度形成。无须说，这种季节性的现象在两极区是轮换性的演变。

用望远镜仔细观测极冠，可以看见那里有大理石般的花纹，有明亮的部分，有暗黑的部分，构成了不规则的轮廓，像是表面高低起伏的样子。极冠缩

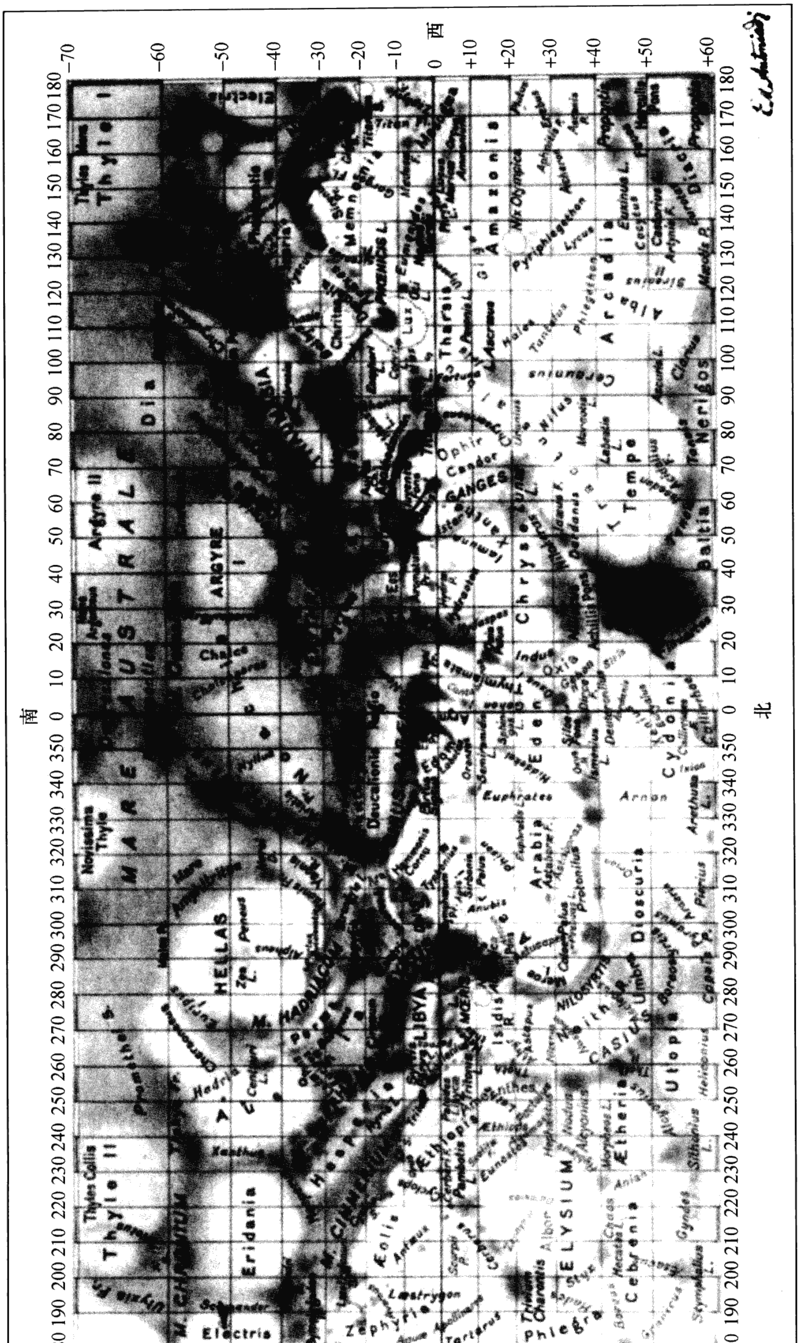



图422　火星的平面图（安东尼亚迪绘）

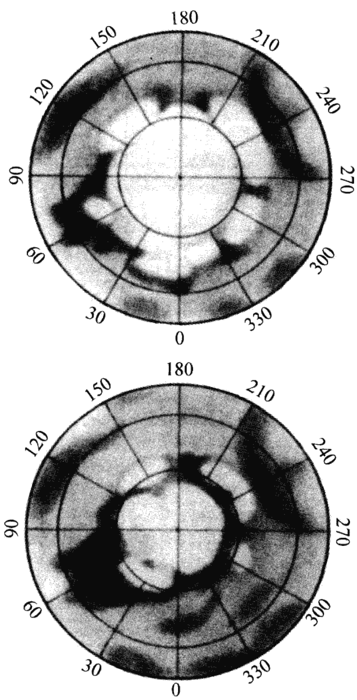



图 423　**火星北极冠在两个时期的状态**
多尔菲斯绘于日中峰天文台。

小的时候，有些区域里仍保持原状，好像有白色的小岛和别的极冠部分分离并呈现出来(图 423)；这些小岛也许是山岳或者高原，那里比较低下处的冰霜迟缓几天消融。有时候，有些地方冰雪已经消融，又暂时重新披上白色，这是夜里结霜的表现。

这些覆盖在极地上的东西究竟是什么？柯伊伯研究了它们在红外区域的反光率，认为有冰那样的光学性质。日中峰和默东两天文台使用偏振计，得出了更好的结果：多尔菲斯用火星极冠的偏振曲线说明它和地上冰的偏振曲线不同，也和雪与霜的偏振曲线有一些差别。他使用抽空的玻璃罩，其中盛液体空气，造成了像火星上那样的在低压下所形成的薄霜。这种构造特殊的薄霜所形成的偏振曲线和火星极冠的偏振曲线完全相合，而且太阳的热力把这薄霜不经过液体而直接升华为水汽。

所以火星的极冠是由在低压低温下形成的薄霜所构成的。已知极冠融化的速度和它所吸收的热量，我们可以计算极冠的厚度，这样求得的数字只有几厘米。可见水虽存在于火星上面，但分量甚微，而且只呈现为固体和气体的状态。

现在再谈论一下那些广大的赭色区域，被早期火星表面学者叫做大陆的部分。这些辽阔的沙漠盖着火星北半球的大部分(图 422 的下半部)。我们仍然使用光度计、摄谱仪和偏振计去研究这些不毛之地。它们的偏振曲线很类似于地球上某些岩石崩解成粉末的偏振曲线，例如火山灰或某些氧化铁，其中的一种是在粉末状况下的褐铁矿，便具有火星的土壤的一切光学性质：散光、颜色以及偏振曲线都完全相同。这么多的相似点，当然不能认为是偶然的巧合。

在叙述火星上斑痕(被人不适当地叫做海)随季节的变化以前，我们应该先研究一下火星的大气和它的气象情况。很久以来，人们便知道愈近火星圆轮的边缘，火星的土地的情况便愈模糊，好像在雾气笼罩下消逝了一般。这种现象被人合理地解释为由于大气的存在。因为就直径和质量而言，火星均在地球和月球之间，所以火星所能保持的大气应当是稀薄的。另一方面，也经人证明火星上远不及地球上多云。

根据火星散射光的偏振情况所定出的火星的大气的厚度，仅相当于地球上大气的 22 厘米那样厚。因火星上比地球上的重力小些(约为 1/3)，无液气压计在火星上只记录出 85 毫巴〔气象学家把气压表示为毫巴。所谓正常大气压等于 0℃时 76 厘米汞柱的压力，合 1013 毫巴。在地面上 85 毫巴仅相当于 6 厘米的汞柱压力〕，或者是地面正常气压的 1/12，可是汞面却上升到 17 厘米。

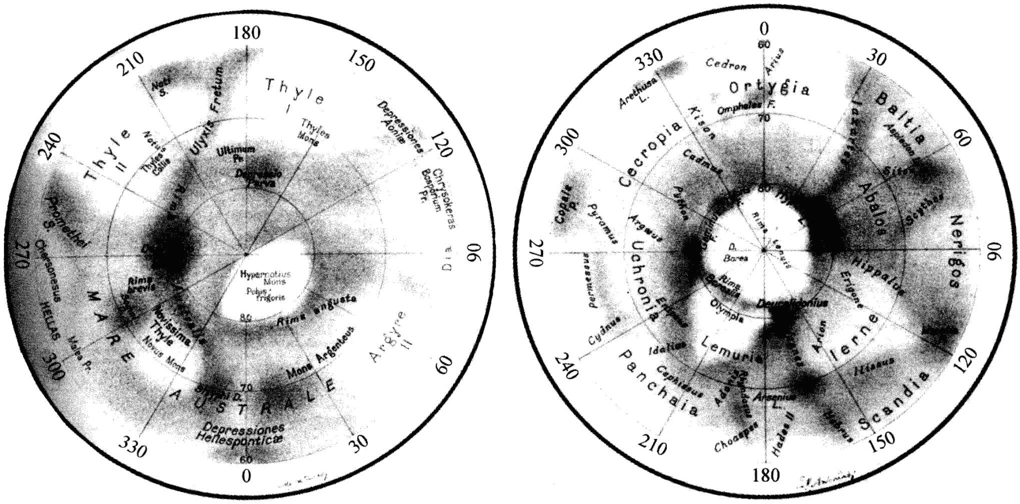



图 424　火星极区图(安东尼亚迪绘)

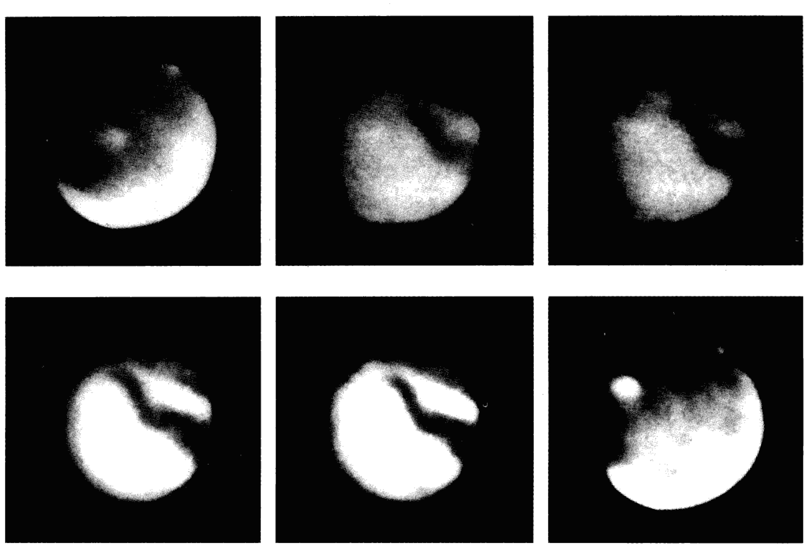


图 425　火星(西尔鲁门海区)

1926 年 10 月 16 日赖特透过各种颜色的滤光板拍摄。由左到右，上面三幅图：紫外线、绿、黄；下面三幅图：红、红外线、紫。

为了测定火星大气的化学成分，曾经有人使用摄谱仪作了许多努力。例如让桑和沃格尔(Vogel)所做的早期的观测，使用原始的工具，以为火星上较之地球上大气情况相差不多，只是这里气压高，水汽丰富而已。可是最近在比较可靠得多的情况下所做的观测，却得出很不相同的结果。火星的大气里即使有氧气，但含量之微是不能在它的吸收光谱内查出来的；水汽的情况也是这样的。表现存在于光谱内的唯一气体便是碳气($CO_2$)，它在火星上的含量约是地球上的两倍，但是这样也不过只占火星大气的1/400。火星大气的主要成分很可能是氮气，再加上少量的氢和氦。

火星的大气比金星的和地球的大气更要透明得多，我们在它上面看出三种不同的云雾。第一种是黄云，也许是由于含沙的风所形成的，可以在连续几天之内遮蔽广大的区域，但是这种黄云现象是罕见的。

常见的一种是白云，透过红色滤光器便容易被看见。在有些情况下，白云运动迅速，表示被风赶逐，速度可达每小时40千米。这些白云时常因昼夜更替就地形成，就地消散。图426是火星上相同一面相隔1月所拍的两张照片，玛嘉里特湾在右图上明显可见，在左图上完全被白云遮掩。偏振观测向我们说明这些云的结构是晶体的，因此它们是卷云。



**图426 火星上的云彩**

1943年12月20日，在玛嘉里特湾看得很明白(右图)；可是在11月22日，这同一区域被云彩掩蔽(左图)。北极区也被白云遮蔽。

最后一种云只能透过蓝色玻璃或者使用紫外光线拍照才可看见，所以有蓝云的名称。它们在晚上形成，早上消逝。它们好像是由很小的水滴所形成的，这些水滴的直径是微米的数量级。这样轻薄的雾气，常在火星的高空掩盖它的表面。

洛威尔和威尔逊山两天文台曾经使用温差电偶测量过火星的温度，这两组测量的结果非常吻合。火星表面的平均温度是－20℃，因此它比地球的平均温度要低34℃。在赤道的荫蔽处，中午时比冰融化时的温度(0℃)稍高一点；黑夜里温度下降到－60℃。日差

的幅度有这样大，那是大气稀薄的缘故。极区的温度常在－60℃至－70℃之间。

火星上的气象情况与地球上的气象很相似，但也有不同。这两个行星上大气运动的主要因素自然同是太阳，它把水或冰变为汽。昼夜的反复、季节的循环导致温度的变化，这样就造成了大气的一般流动。但是在火星上因大气稀薄而且没有水汽的凝结，使得那里的气象情况较之地球上的既简单而又没有那样的难于测量。

春季到来，水汽由一极区扩散到赤道上去，再由赤道而到另一极区去，它在那里根据冷壁原理凝成薄霜。在这样迁徙的途程中水汽常形成卷云，使各地区变冷。

最受季节变化影响的区域是火星上暗黑部分，叫做海的地方，这些地方差不多全在南半球，读者可在图422上查看便知。这幅图是望远镜物镜里所表现的情况，北在下而南在上。火星上春季到来的时候，这些斑痕变暗、变形、变色，这样的活动一直经过整个夏季，秋季到来时暗区复回到原来的颜色。在季节的变化中，火星土壤的结构也发生变化，这可由它的偏振曲线的变化而得到证明。表面构造的变化的原因是温度的周年变化，也许也是湿度的变化。

这些季节性的变化是不是由于植物春生秋萎的现象所导致呢？一开始我们总是有这样的想法。我们树上的叶和草原上的草都有叶绿素，它们虽在远方，但也可以由其光谱里特有的吸收光带而辨认出来。可是这样的光带却没有在火星的暗痕的光谱里找到，那么，如果火星上真有植物，那些植物便是没有叶绿素的，我们却在火星的红外光谱和隐花植物的苔藓的光谱中找到了相似之处。但是这样的类似点也许会骗人的，因为太阳的紫外光可以透过火星的大气而被地球吸收，它会迅速地把地上的苔藓的色素摧毁掉。如果有植物能够在火星上生存，它必须借它表面的某种色素维护紫外线的杀伤，可是这便超出了我们的经验范围。所以我们不应该太依靠光谱学去探索火星上是不是有植物那样的生命。

这里还是偏振的测量对于我们比较有帮助，它告诉我们火星上的植物只能有颗粒状的结构，所以这样就没有显花植物那一大部门以及大部分的隐花植物，因为没有叶绿素的存在，所以这结果是不足怪的。只有体积很小、颜色鲜明的微生物，如像发色细菌或者外膜属的、能在雪里生长的藻类才具有火星上变化的暗黑区域的那些光学性质。地球上的生物如果移植到火星上去，好像只有微生物才能够在那里生存和适应。如像我们所熟悉的生命，只是地球和它特殊环境的特殊产品，个体的重量、身材、姿态、颜色、生命的长短、活动休息的调节、所吸取食物的性质和分量、所呼吸的气体、一切有机组织的功能、一切演化的特性，都纯粹是适合地球上的情况的结果。

在火星上，由于极度的寒冷、干燥、氧气的缺乏、重力的减少、太阳的紫外辐射的加强，

所造成的环境和地球上产生生命的环境迥然不同。地球上的植物和动物在火星上也许找不出同类，那里有机物的演化也许遵循别的途径。由这种演化所产生的生命的类型可能和地球上的类型大有区别，正如在地球上，海里的生物和陆上的生物，热带的生物和寒带的生物都大有区别一样，在地球上大自然已经表现出有无数种属存在的例子。要去设想这些未知的，也许和我们在地球上所见大有不同的生命，那真算是枉费时光。

这问题既已提出，而又不是明天所能解决的，我们将作怎样的结论呢？火星上有生命存在，现在还是一个假设，但是没有任何观测反对这个假设，而且还有一些迹象支持这个假设，这已算是有不少的收获了。总之，根据现象，而不违背事实，火星上如果可能有生命，那么也许只有植物，不会有动物的。




图 427　谷神星发现的寓意图

## 第三十章

# 小　行　星

19 世纪开始的第一天，1801 年 1 月 1 日，皮亚齐(Piazzi)在巴勒莫天文台对着金牛座观测星星并确切记录它们位置的时候，有一颗星引起了他的注意，因为这是他从来没有看见过的。第二天，1 月 2 日，这颗星已经逆行了 4′，沿着这个方向一直逆行到 12 日，它才停住；然后又顺行，即由西向东去。这颗行动的星是什么星呢？皮亚齐也像 1781 年发现天王星的威廉·赫歇尔一样，把这颗星当做是一颗彗星。

可是这位能干的西西里天文学家参加了一个为了在火、木两星之间寻找未知行星的学会。原来自近代天文学开始，开普勒就指出火、木两行星轨道之间有一个缺空。提丢斯于 1772 年又说了同样的话，那时他发现一个经验定律，人们可以根据它去预言大行星到太阳的距离，这定律我们已经在第十五章内向读者介绍过了。提丢斯根据他的定律求出

已知的行星的距离，1781年再加上天王星，都和事实非常接近，但是在他的计算里，相当于2.8(地球到太阳的距离取为1)的空间却没有一颗行星。为了发现这颗失掉的行星以它来填满这个缺口，于是柏林天文台台长波得组织24位天文学家成立了一个学会，每一位分担对黄道带内1小时的区域做详细的搜查工作。这个系统的搜查还没有得到结果的时候，皮亚齐发现的自认为是彗星的消息传到了柏林，波得立刻认为那就是正在寻找的行星。当时有一位年轻的学生，即后来因此成名的高斯(Gauss)努力去计算这颗行星的轨道。这是一件艰难的工作，因为这颗行动的小星到了2月11日就看不见了，人们只对它观测了41天，在这期间，它围绕太阳只走了9°。高斯发明一种计算的方法，今天已成为经典的方法，他借这种方法算出这颗新行星的轨道根数。从这些根数得知它的偏心率是0.08，交角是11°，都很小。这些不是彗星而是行星的特征，因此这颗星真的是一颗行星。它和太阳的距离是2.77，和提丢斯所预言的相差很少，它的公转周期是1680日。皮亚齐爱读罗马作家贺拉斯和维吉尔的作品，就把这颗新行星命名叫谷神星，这谷神原是神话盛行时代西西里岛的保护神(图427)。

这个缺空是被填满了，可是天文学家的工作却没有做完。1802年3月28日德国不来梅州(Brême)的天文学家奥伯斯(Olbers)在室女座内发现一颗7等星，是他使用的波得星图内所没有的。这第二颗行星名叫智神星，环绕太阳运行的距离和谷神星相同，但是偏心率是0.23，交角是35°，特别大了一些。智神星的发现对于天文学界毋宁是惊诧，而不是欢乐，因为空缺已经被填补，不需要另外再来一颗行星了。

不久真相就更明白了，原来火、木两行星之间的缺空不是被一颗行星，而是被一群行星所占有。1804年9月1日不来梅州附近的利良达耳天文台的哈丁(Harding)又发现了婚神星，它距离太阳比谷神星和智神星要近一些，这距离是2.67而不是2.77。

奥伯斯注意到这三颗小行星都相会于室女星座，于是作出一个假设，以为这些小行星是一颗大行星从前遇到灾祸所留下的破片。根据天体力学的理论，在这样的情形下，星的一切破片应当在每一周期之末重新回到灾祸发生之处。奥伯斯便把室女星座当做是小行星的聚会处，在那里去作详细的检查，1807年3月29日，他发现了灶神星，好像是给予他的假设一种证明。这是小行星中最明亮的一颗，在冲日时，像6等星，可以用肉眼看见，但是必须知道它在天上的位置才找得到。它和太阳的距离只有2.36，它的轨道并不和以前发现的三颗小行星的轨道相交，这好像是和奥伯斯的假设发生了矛盾，但是它的轨道也可能是被别的行星的摄动所改变了。谷神、智神、婚神、灶神四颗小行星环绕太阳运行的周期顺次各为1680日、1686日、1593日和1325日(图428)。

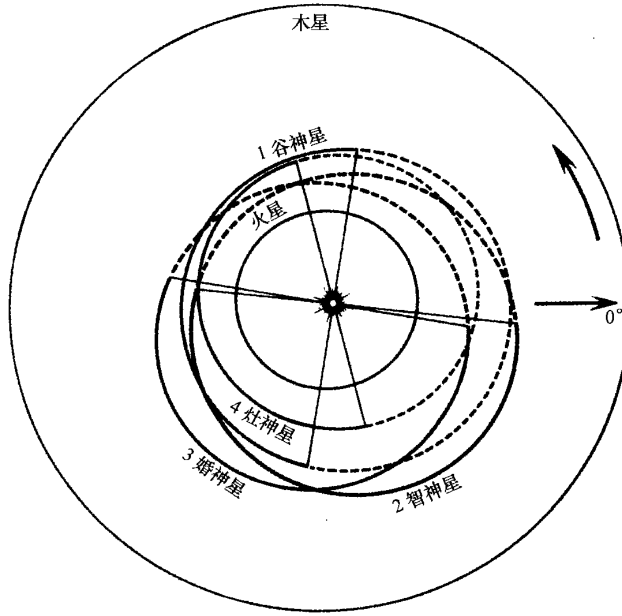


图 428 火星、木星和四个最初发现的小行星的轨道

经过了 38 年并没有新的发现，好像收获已经完了，可是 1845 年柏林邮局的一位局长，天文爱好者亨克（不要和当时柏林天文台台长恩克弄混淆了）又发现了义神星。这个没有预料到的成功对于观测者是一种鼓舞，自那时以后他们抱着热切的心情去寻找新的小行星。他们的工作必须有极详细的黄道带星图的帮助。这些星图自 1830 年开始为柏林科学院所编辑，继后有阿格兰德（Argelander）和舍费尔德（Schönfeld）所刊布的大星表，今天还用以证认暗至 9 等的星。1854 年巴黎天文台计划绘制完备的黄道星图，收有暗至 13 等的星〔这个伟大的工作没有做完，亨利兄弟于 1884 年指出用照相的方法去作星图比用肉眼观察的方法更优良些。他们于是成了天图照相星表的创始人〕。天文工作者以不懈的努力比较天穹和星图。在目镜一端如果看见一颗小星是星图内所不曾记载的，这可能就是一颗小行星，只需忍耐地多待一会，看它是不是移动了位置。

1868 年发现而且证认了的小行星已达 100 颗，1879 年达到 200 颗，1890 年达到 300 颗。1891 年 12 月 20 日是小行星天文学历史上可纪念的一个日子，因为海德堡的马克斯·沃尔夫（Max Wolf）首先用照相的方法发现了第 323 号名叫布鲁西亚的那颗小行星，照相的方法可以完全不需用星图。如果我们用大视场和大口径的照相镜去拍摄天空中某一个区域，我们所拍得的负片，上面到处分布着或大或小的黑点，它们便是星星的像。假使在露光的时候恰好有一颗小行星在照相镜的视场里，譬如露光 1 小时，对于周围的恒星来说，这颗行星移动了位置，在照片上便成了短短的一划，一看便可从点状的恒星像里分辨出来。我们在照相天图的照片上找出了许多这样的横划，图 429 便是一个例子。后面我们还要谈到，每颗星在照片上有形成等边三角形那样的三点，因为避免底片上的缺陷或者乳胶的缝痕，我们稍微改动位置继续露光三次。这样拍上去的小行星的像是极易辨认

的三条直线。照相的方法比肉眼观察的方法既容易进行，而且效率又很高，自 1892 年以来天文工作者就只使用这个方法，于是被捕获的小行星多得惊人。尼斯天文台的夏路瓦(Charlois)一人就发现了 101 颗之多。

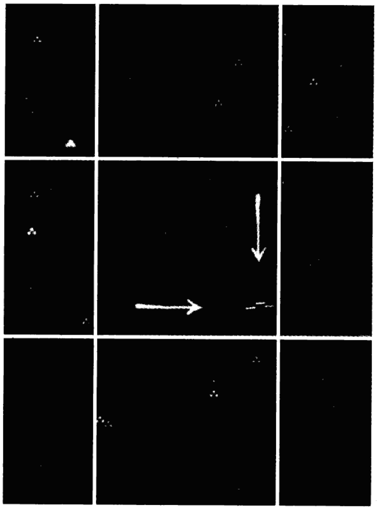


图 429 天图照片一个区域的放大图，表示几颗恒星和一颗小行星

现今小行星经人认证载于星表的已经超过 1 600 颗，如果要写出来，它们会占十几页的篇幅。这一大群小行星有特别的组织机构在照顾它们，一个在美国的辛辛那提，一个在苏联的列宁格勒(今俄罗斯的圣彼得堡)，这两处有专家计算它们在每年冲日前后的星历表，以供观测者使用。

如果照片上摄得一颗小行星，你以为是新的发现，人们可给予一个暂时的记号，即在观测年后附加两个字母，例如 1938XE。人们于是计算它的轨道根数，且和小行星的总表加以比较，考察它真的是不是一颗新的星。如果是的话，还须等待下一次冲日被观测证实以后，才正式列入表册。如果没有这样的证实，许多发现经过许久还是在待证实的名单内而未得到正式的认可。

既经列入名册的小行星，除给予一个号数之外，发现人还可以给它命名。从沃尔哈拉(Walhalla)〔斯堪的那维亚人以为这是战死沙场的英魂归宿处。——译者注〕以至奥林匹斯(Olympos)〔希腊人以为是诸神的住居处。——译者注〕，神话上的姓氏似乎已经用完了。于是许多发现人便拿他们的国家、城市、前辈和心爱的人命名。因而在小行星的世界里便出现了西班牙、比利时、俄罗斯、美利坚合众国等等国家的名称〔第 1125 号小行星是由中国天文学家张钰哲发现的，这颗小行星的名字叫做“中国”。——译者注〕，莫斯科、芝加哥、华沙等等城市的名称，还有古代的天文学家如哥白尼、伽利略、开普勒、牛顿等人的名字，以及近代天文学家如纽康、巴约(Baillauda)、阿佩尔(Appell)等人的名字均上升天界变成了小行星的专名。至于弗拉马里翁和朱维西两颗小行星更是用以纪念将天文知识传播给大众的天文学家和天文台了，又如照相术和体视镜更是用以表彰天文研究的技术。还有历书上每天的保护神以及许多女性的名字如卡尔曼、米米、杜杜之类，最后举几个比较严肃的名字，如道德、谦逊、公义、真理、忍耐、和谐、诗学、哲学……也存在于小行星的世界里。

天文学家也许会自鸣得意地说所有的小行星，虽然不是全部，至少大部分都被发现，

留给后人的都是微小的颗粒的吧。事实上完全不是那样的。发现的次数还没有减少，虽然已经很少发现大颗的（“大”在这里原是相对的意义），可是观测的方法愈改善，发现小颗的数目愈多。据巴德（Baade）估计，在冲日时亮于 19 等的小行星当有 4.4 万颗之多，比这光度更弱的还不知道有多少呢。我们简直不敢断定在我们叫做小行星那样的小星和陨星那样的小石子之间，是不是有一个截然的界限。如果我们把巴德所定的界限扩大一些，去拍摄比他所说的还暗 1 万倍的小行星，谁能说照片上不充满不可计数的细纹，表现出空间里实在有永恒运动的行星灰尘，正如太阳光里的无数灰尘一般呢？

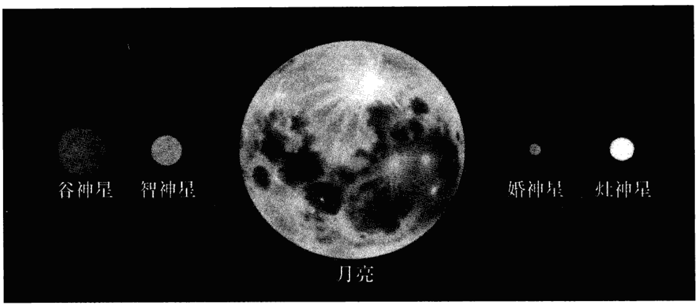



图 430 四个首先发现的小行星和月亮大小的比较

现今所发现的小行星，其直径很少有超过 20 千米的。在已经发现经人估计过大小的小行星中，有三十几个的直径超过 100 千米。最大的几颗是：谷神星（根据巴纳德，770 千米）、智神星（490 千米）、婚神星（190 千米）、灶神星（390 千米）（图 430）。有 200 个直径在 50～100 千米之间，670 个直径在 20～50 千米之间。无疑，将来发现的小行星多数属于最后两个群体，但是像巴德所说暗至 19 等、尚待发现的 4.4 万颗小行星，大多数都可能是小石块，大的直径几千米，小的直径不过几百米罢了。

对小行星全体的总质量，我们只能作冒险的估计，这样必须对它们的直径、密度和数目作些假设作为计算的根据。斯塔克（Stracke）估计小行星表中前列的 1539 颗的总质量是地球的质量的 1/847，阿仑德（Arend）更补充说待发现的小行星虽然很多，但是因为它们很小，对于斯塔克所说的数字不会增加太多的。假使这些在火、木两行星之间运行的小物体聚在一块或者被黏合成一个球，这球的直径可能不超过 1 000 千米。

这结论使人对于奥伯斯的假设发生怀疑。也许小行星所爆裂出来的原始行星就很小，比火星、水星甚至月亮还小，或者这颗原始行星的大部分质量业已散布在空间无法查考，两者必居其一。在现时的情况下，这谜底是无法窥视的。日本天文学家平山甚至说小行星分群出现，每一群是从一颗行星破裂出来的，像这样的问题就愈加难于解释了。自然

可以假想原始的行星分为几个大块，然后再分为这位日本天文学家所说的小行星群。那么，奥伯斯所说的破裂便是分两个步骤去完成的。

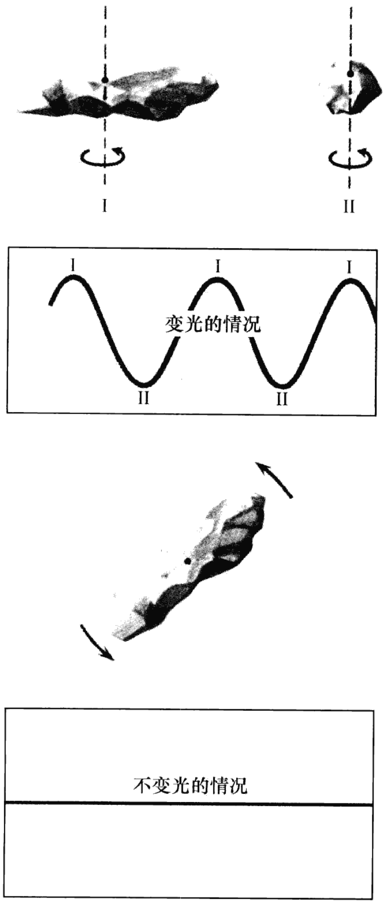



图 431　不规则形状的小行星因自转而产生的光亮变化

大行星之所以是球形的，不但是因为它们的体积大、旋转快，在它们的表面上，重力和离心力均相当大，而且因为它们过去曾是（有些现在还是）在黏液体状态之下。自然没有理由说像小行星那样的小块物质便不会成球形。据可靠的观测，谷神星、智神星和灶神星均表现行星状的圆轮，但这些是小行星中最大的几颗。从另一方面看，许多小行星的光亮经人发现是有变化的，便使我们不能不把它们的形状当做是不规则的。这种光变是周期性的，而且周期不过是几小时。如果光亮的变化幅度很小，我们可以假想行星表面上一些区域有暗黑的斑痕，因迅速的自转，使观测者看见的是明暗不同的部分的连续出现。但是如果光亮的变幅很大，这假设便难于成立。在这一点上，经人研究得出最好的小行星当是 433 号爱神星，在本书叙述测量太阳的视差那一节已经谈到这颗小行星了。在某些时期里它可在 2 时 38 分的周期里变化成 1.5 星等，在 1 时 19 分内光亮可增加 3 倍，又在一样长的时期以后恢复原来的光亮。在另外的时期里它的光亮的变化微弱，甚至不能察觉。为了解释这种奇怪的光变，有几种假设，最简单的是下面这一种：爱神星的形状原是一块十几千米长的细针形的岩石，在每 5 时 16 分内绕着和它最长的一边正交的轴旋转（图 431）。当地球在小行星的赤道平面之内的时候，这块针状物交替地以它的尖端和横侧面向着我们，所以就有像我们观测出来的变化那样，因自转而产生两个极小和两个极大的亮度。反之，如果地球在这针状物的旋转轴的附近，就没有光亮的变化，或者异常地减弱了。

对小行星的物理研究还很少，远远落后于对大行星和彗星的物理研究。小行星散射日光的情况像没有气体包壳的彗星的核那样。在谷神星和灶神星周围没有发现大气的踪

迹，这是不奇怪的，因为它们的质量小，引力微弱，不能够维系住气体的分子。

人们常常把小行星在太阳周围所形成的环比拟为土星的光环，这是不很恰当的，因为小行星的轨道绝不是圆形的（它们的偏心率的平均值是 0.15），而且它们的轨道平面的位置也是变化很大的。它们的轨道错综交叉像线球上的线一样。如果要把小行星所形成的环造成一个模型，每个椭圆轨道由一根焊接闭合的钢丝代表，如果要想解开一根，就不能不影响其余的各根。

这种混乱的情况只是表面的，仔细考查一下，也表现出一些规则。在谈到这些规则以前，让我们大略说一下小行星总体所构成的环吧。它的最密的部分是在离太阳 2.17 与 3.45 两圆圈之间（日地间的距离取为 1）。公转周期的下限是 38 个月，上限是 78 个月。但是在这主要的环之外，也有一些散漫、孤立、具有特性的小行星。我们在这一章结尾处将谈到其中的几颗。

小行星环的结构表示在斯塔克所绘的图内（图 432），这幅图表明小行星的数目随绕日运行的周期（图的上方）而变化的情况。图下方的横标是平均运动，即行星绕太阳平均每天所经的弧度（例如火星的平均运动是 1 886″或 31′26″，木星的平均运动是 299″或 4′59″）。为绘制这幅图，按小行星的平均运动每 5″的组距先分为组，垂直线的长短与每组内小行星的多少成正比，例如平均运动在 715″和 720″之间的小行星有 17 颗。

因为木星是太阳系里除太阳以外最大的一个行星，所以小行星在太阳系各处的分布大大地受到它的影响。扣克伍德表明小行星环上有罅隙，换句话说，即在某些距离处找不

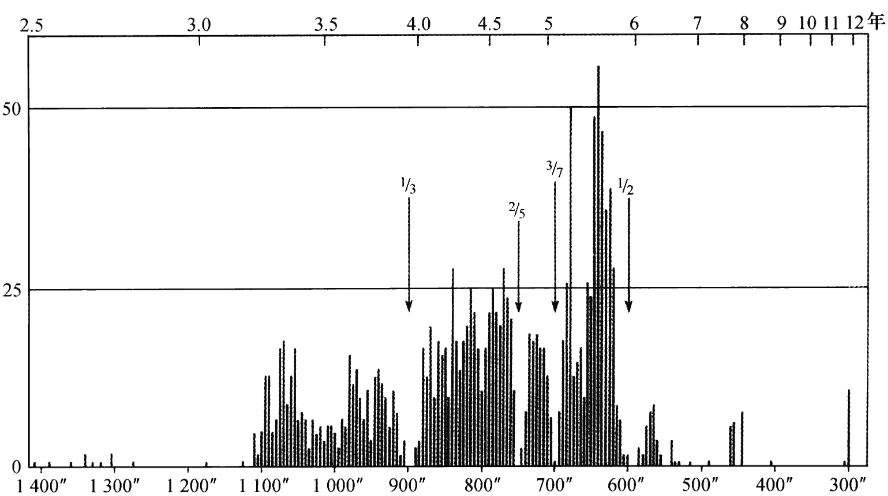



图 432　小行星按公转周期（上面的标度）和按平均运动（下面的标度）的分布图

出一颗小行星，这些距离主要的是2.50、2.82、2.96、3.28，譬如在2.49和2.52之间就没有一颗小行星。如果我们用开普勒的第三定律去计算在这四个距离处环绕太阳运行的行星的周期，我们便发现这些周期和木星的公转周期(11.86年)之比分别是：1/3、2/5、3/7、1/2。第一个罅隙在斯塔克的图上最显著，相当于4年少17日的公转周期。这显然是因木星的吸引力阻止了小行星在这距离上的分布，或者说已经把它们从这距离处拉开了，但是这种阻止或者拉开的看法给予天体力学一个疑难的问题，至今还未能完全解决。



图433　拉格朗日(1736—1813)

可是有一些以特洛伊战争中的英雄命名的小行星的发现，却给予经典的摄动理论以惊人的证明。拉格朗日于1772年刊布了他的《三体问题论》，那时人们才知道六颗行星(包括地球在内)。拉格朗日研究三个天体，例如太阳 $S$ 和 $A$ 与 $B$ 两颗行星，按照牛顿定律互相吸引应有怎样的运动。他当做游戏似的提出：如果这三个天体放在等边三角形的三个顶点上面，它们之间的距离虽然变化，彼此间的三条直线却总是相等，使三角形 $SAB$ 总是等边的。于是 $A$ 和 $B$ 两行星环绕太阳沿相同的椭圆轨道运行，它们的长轴之间的角度是60°，像这样特殊的理想情况，我们总以为在宇宙里很难找出一个实际的例子。

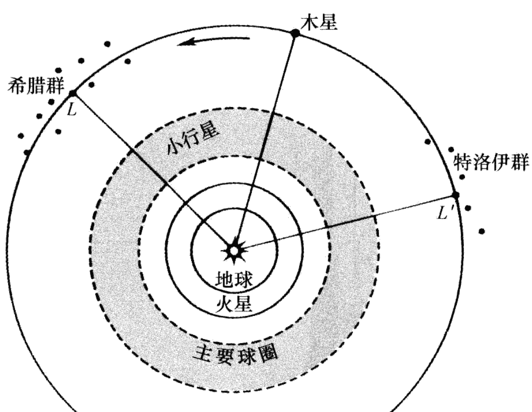



图434　木星的拉格朗日点和特洛伊群小行星

拉格朗日的问题一向被人看做是一种数学游戏，可是以后经人指出：这三角形虽然不是严格的等边，但三边的长度却相差得很少，$A$ 和 $B$ 两行星的运动总是维持三边大约相等的距离。这样的情况在太阳系里真的是存在的。设 $A$ 代表木星，$L$ 代表拉格朗日所说的一点(图434)，于是 $SAL$ 是等边三角形(在轨道平面上有这样的点两个，一在木星前60°，一在木星后60°)。如果行星 $B$ 无限

接近于 $L$ 点，它的运动使它总是保持在 $L$ 点的附近，这颗行星 $B$ 环绕 $L$ 点绘了一条复杂的曲线，可是离开 $L$ 的摆幅不大。这样一颗行星与太阳永久在距离木星的 5.2 处，而且它的日心黄经度和木星的黄经度两者之差总是在 60°附近。

我们现在已经发现 15 颗小行星符合拉格朗日点的条件。第一颗是于 1906 年被海德堡天文台发现的，这颗星以它异常迟缓的运动引起天文学家的注意，它真正的周期大约是 12 年。它的距离是 5.2(日地间的距离取为 1)，在木星的轨道前面 60°。于是拉格朗日所要求的条件完全满足了！在同年的年底另外一颗小行星又被人发现于拉格朗日的第二点的附近，于是使得专家们更是心满意足了。这第一颗小行星是 588 号名叫阿且里斯，第二颗是 617 号名叫白卓克拉斯。从此以后，大家便决定把在木星前的拉格朗日点附近的小行星命以《伊利亚特》中的希腊英雄的名字，如阿加米农、犹里赛斯、奈斯托、阿扎克斯、狄奥米特，但是在这决定以前赫克托已经混在他们里面了。至于在拉格朗日第二点附近的小行星，都是特洛伊军中的英雄，其中有白卓克拉斯因命名过早的缘故混入他的敌军里去了，这一群里有披里安、昂其斯、埃内、托洛依耳。还有在 1949 年和 1950 年发现的三颗，它们的轨道根数还没有确定，它们将加入希腊群。

特洛伊群小行星中有一颗在环绕拉格朗日点运行时离开太阳的距离达 5.98，可是 1920 年巴德所发现的 944 号西达耳哥距离远远超过以前的一切小行星，它的远日点距离达 9.60，简直达到了土星那样的远了！它的公转周期是 14 年。它的偏心率(0.65)和它的轨道与黄道的交角(43°)异常之大，假使它的物理性质不是属于小行星的，我们简直可以把西达耳哥当做土星族的彗星了。还有六颗奇特的小行星，因为它们的近日点特别靠近

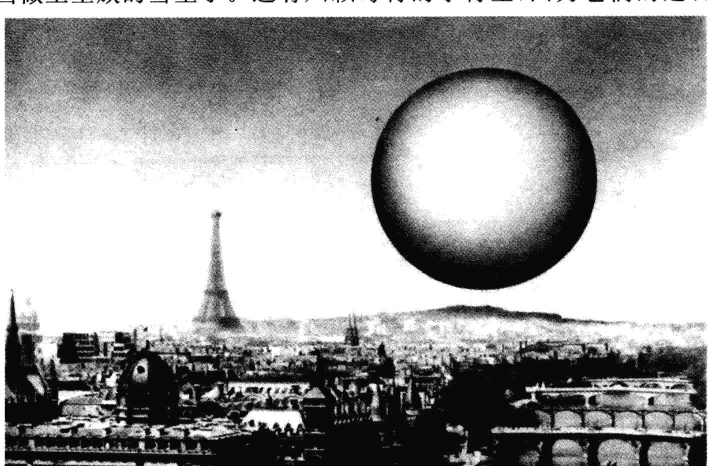


图 435　假使小行星赫梅斯经过巴黎城外瓦累廉山的上空……

太阳而著名，不能不叙述一下。1898 年发现的爱神星是比火星的公转周期还短的第一个例子。因为它的轨道偏心率很大，它的远日点在火星轨道的外边，可是近日点却挨近地球的轨道，即离地球只有 1 800 万千米（仅 0.12 天文单位），就因为它有这个条件，天文学家才用来求它的视差，因而算出太阳的视差，这能达到很高的精确度（参看第十六章）。

下表记载的是比火星距太阳还近的几颗小行星的轨道根数，只有最后四颗的公转周期小于火星的公转周期。表中记载了每一颗发现的年代、轨道的长轴半径（偏心率大的情形下，这根数和离太阳的平均距离有一点差异）、轨道的偏心率、绕太阳运行的公转周期及会合周期（即冲日的平均期间），都用年及年的小数来表示。

| 小行星 | 发现年份 | 长轴半径 | 交角 | 偏心率 | 公转周期 | 会合周期 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 阿多尼斯 | 1936 | 1.97 | 1°.5 | 0.78 | 2.76 年 | 1.57 年 |
| 阿莫尔 | 1932 | 1.92 | 11°.9 | 0.44 | 2.67 年 | 1.60 年 |
| 阿波罗 | 1932 | 1.49 | 6°.4 | 0.57 | 1.81 年 | 2.23 年 |
| 爱罗斯 | 1898 | 1.46 | 10°.8 | 0.22 | 1.76 年 | 2.31 年 |
| 赫梅斯 | 1937 | 1.29 | 4°.7 | 0.48 | 1.47 年 | 3.15 年 |
| 伊卡尔 | 1949 | 1.08 | 23°.0 | 0.83 | 1.12 年 | 9.33 年 |

上表内有两颗小行星，它们的公转周期比爱罗斯（即爱神星）的公转周期还短，赫梅斯环绕太阳运行一周只需 535 日，伊卡尔只需 409 日。在近日点处赫梅斯比金星还接近太阳，至于伊卡尔更接触到中心的火团〔希腊神话：伊卡尔因随他父亲修造迷宫而被囚禁，后来贴上羽翼飞出宫外。伊卡尔飞得太近太阳，黏贴羽翼的胶融化了，因此坠落海中。——译者注〕，它的近日点只有 2 800 万千米，比水星的近日点（4 600 万千米）还要接近太阳。伊卡尔的直径为 1 400 米，赫梅斯的直径为 1 200 米，还不及一条街那样长。

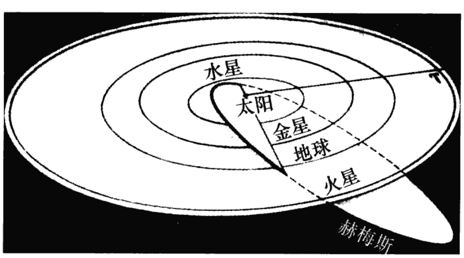



图 436　小行星赫梅斯的轨道

这些小行星的轨道都很接近地球的轨道。1937 年 10 月 30 日赫梅斯距地球只有 78 万千米，仅仅相当于月亮距地球的距离的两倍！这还不算最近，最近的距离估计约为 60 万千米（图 436）。

读者不该忘记摄动的作用缓缓地改变了地球的轨道，也改变了行星的轨道，所以行星间的最短距离时常改变，有时增长，有时缩短。两颗行星的轨道相遇就数学上来说并不是不可能的，但是要使地球和小行星发生碰撞，这两颗星应该同时经过它们轨道的交点，这虽然是有可能的，但应该认为是非常非常罕有的事。如果万一不幸碰撞果然发生，

小行星落在地上，自然会在碰撞点的周围酿成可怕的灾祸。一团重几十亿千千克的物质并具有每秒几千米的相对速度，一下被阻挡住，所发生的热力之大可以想象得到。但是地球不会因此停止了旋转，远于灾区的居民还是可以免于灾祸的。即使在过去几十亿年以前，地球和赫梅斯曾经互相掠过而并没有影响它们的存在，也许再过几十亿年它们还会没有多大损害地互相冲过。

还有阿波罗和阿多尼斯两颗小行星，像赫梅斯一般，比金星还接近太阳。除了伊卡尔，要算阿多尼斯轨道的偏心率最大了，它也和水星一样的接近太阳，可是在这一点上伊卡尔还是居第一位。1936 年 2 月阿多尼斯被人发现的时候，距地球只有 200 万千米。阿波罗离地球最近时约 400 万千米。

这些发现使我们想到地球在很多类似小行星的物体中间运行，如果思考一下，这是不奇怪的。原来地球不断地接收大量的陨星，这些陨星常常是很渺小的，但是有时也有很大质量的物体落到地球上来。这在本书后面还要谈到，1908 年 6 月 30 日，一块重几千万千



**图 437　人们在这张照片上发现了伊卡尔小行星**

1949 年 6 月 26 日用帕洛罗山的施密特望远镜拍摄。

克的陨星降落在西伯利亚，幸而在荒凉的地区。空间里也许有无数这样的小渣滓，按照开普勒定律环绕太阳运行。在落在西伯利亚的三十几米直径的陨星和赫梅斯小行星之间，是不是有一种中间物体把陨星型的天体和行星型的天体联系起来呢?

周期近于一年的小物体的发现是可能的，但是需要大的望远镜，因为它们的会合周期很长，冲日的时期相隔很远，所以它们的轨道根数在长时期里不能确定。

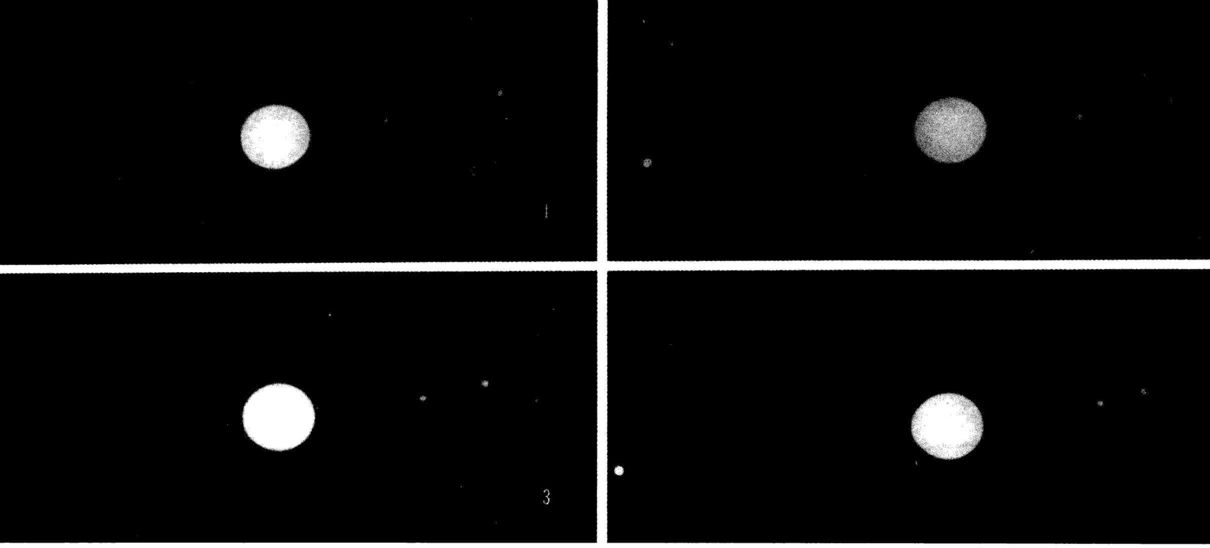


图 438　木星和它的四个大卫星

弗拉马里翁天文台拍摄，四张照片各相隔 20 分钟。

# 第三十一章

# 巨大的木星

我们现在来谈太阳系里主要的行星。这个伟大的世界和刚才所谈到的渺小石块相比之下，非常突出。在我们的旅程里，穿过这些微尘式的小行星而来到这个硕大无朋的大行星的时候，我们总不免有一些奇怪的感觉。木星在星星间发光，人们欣赏这个小光点的时候，谁会想到这个球的巨大体积相当于我们渺小地球的 1 310 倍，质量相当于地球的 318 倍〔约合 2 万亿兆（$2\times10^{27}$）千克〕呢？木星的光辉是耀眼的，因为它像金星那样可以使它所照射的东西产生影子，可是我们想不到这远方世界里有那样奇特的巨大星体。只需使用一个小型望远镜，就可以把这一点扩大成一个圆球的形状，而且可以看见陪伴着它运行的四颗大卫星。如果再从天文望远镜里去看木星，那将是怎样动人的情景啊！我们看见一个世界庄严地前进，一下就看出它那类似球体、两极略微扁平的形状和赤道带上弥漫的云雾。每个人都贪看不忍离开，这真是难忘的景象！

古人把昏星取名为维纳斯（金星，即爱神），特别把天上的宝座留给奥林匹亚的主宰丘比特（木星，即众神的父亲和主宰）。现今的科学家仍然把木星保留在古代天文学家所放

置的崇高的地位上。除了太阳之外，太阳系中最占优势的成员便是木星。它的直径比太阳直径的1/10还大一点；它的质量大约是太阳质量的1/1 000，换句话说，即所有行星的质量加在一起的两倍半。因此木星成了太阳系里摄动的主要因素。我们说过，因为木星的摄动使小行星环上有些特殊的罅隙，彗星更为我们说明了木星的引力给天体的运动带来怎样大的影响。

木星和太阳之间的平均距离是5.2天文单位。它的轨道偏心率是0.048，在近日点的距离是7.4亿千米，在远日点是8.16亿千米。从木星看太阳，直径只有6′。太阳给予木星的能量只有地球所接收的1/27。

木星环绕太阳运行的周期是11年10个月零17日。1951年11月20日，木星经过它的近日点，要等到1963年和1975年等等才再过近日点。至于它的会合周期是1年零34日，其间顺行278日，逆行121日。每一年内木星跨过一个黄道星座。每年的冲日期大约较前一年迟一个月，例如1950年为8月26日，1951年为10月3日，1952年为11月8日，1953年为12月13日，1955年为1月15日等。一般说来，冲日的那一天和以后的三个月是最适宜在晚间作物理观测的时期。有小型望远镜的人，从木星和它的卫星时常变化的现象里，得到永久常新的兴趣。

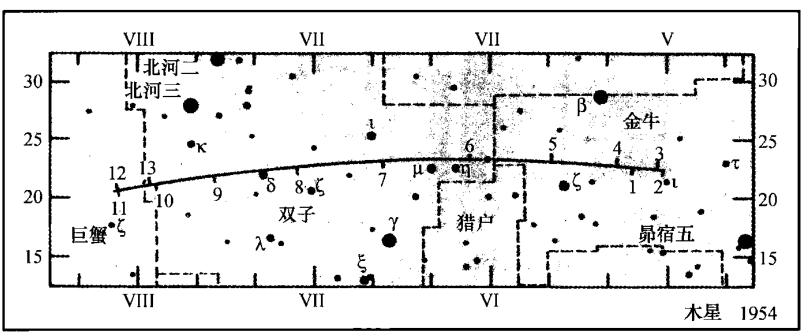



图439　1954年木星的行踪

取自《弗拉马里翁天文年鉴》。

木星的轨道和黄道相交的角度只有1°18′31″，所以古人把它叫做是**黄道里的行星**。木星于1942年9月9日及1954年7月20日过升交点，于1956年又经过那一点。它于1948年12月26日过降交点，于1960年再过那一点。

木星球体的扁平形状是很显著的，即使在小型望远镜里也看得出来，据计算这扁度约为1/15。在5.2天文单位的平均距离处，赤道径是38″，两极径只有35″.5。在冲日时它对于地球的平均距离降到4.2天文单位，这两种直径各为47″与44″。1951年在近日点冲日

的时候，木星距离地心只有 3.95 天文单位，那时赤道径达 50″，是它的极大值。

以地球的赤道径为单位，木星的赤道径是 11.2 即 14.27 万千米；两极径是 10.4 即 13.32 万千米。把这两个球的扁度计算进去，我们求得体积的比例，木星是地球的 1 310 倍（图 209）。

木星的质量曾经被人做过许多种的测定，都很符合，所以是很可靠的。测定的方法或者利用它的卫星的运动，或者利用它施于别的行星或某些彗星上的摄动。它的质量是太阳质量的 1/1 047.35，或者说是地球质量的 317.5 倍。

把木星与地球的质量的比例和刚才说过的体积比例联系起来，我们求得木星的平均密度还不到地球平均密度的 1/4，它只是水的密度的 1.33 倍，比太阳的平均密度（1.4）还小一些！木星是一个冰冻的世界，它的物理状况自然和太阳大不相同。这是一个需待解决的疑谜，可是使我们惊奇的还不止这一点呢。

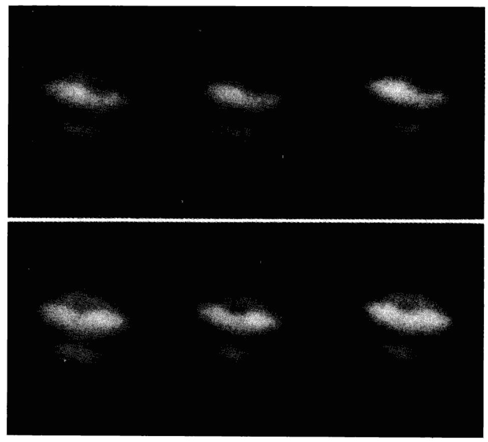


图 440　木星的自转在这两套照片上显然可以看出，各片拍摄时间相隔 21 分钟

第一次在望远镜里看见木星的人，立刻就会觉察那些横过它圆轮的平行带子。这些带子可以当做这个巨大行星的特征。它们表现了木星表面上的凹凸、裂缝和明暗斑纹，可以当做标志点去寻找这个巨大的球体的自转速度。如果我们仔细观察这样的一个细节，我们就会觉得它由东到西在移动（对于北半球的观测者便是由右向左，因为望远镜把像的方向弄反了），只要半小时的注意便足以觉察出这个现象（图 440）。

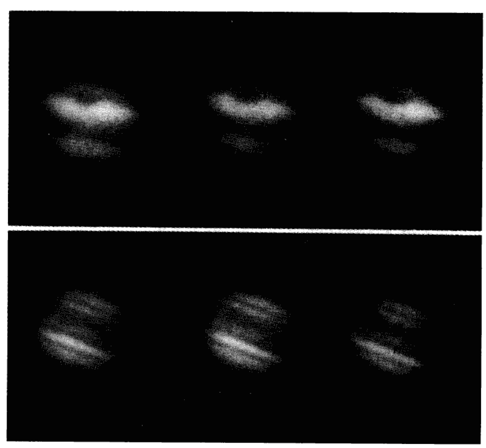


图 441　在 15 个月内木星表面上起了大的变化

上图拍摄于 1937 年 7 月 22 日，上有红斑；下图拍摄于 1938 年 10 月 15 日。

但是这些斑痕并不像地上的大陆或者火星上的斑痕那样，它们不是永久的结构。它们的形态变化迅速，时常是在几天以后就变了形象，使人不能认识。暗带自身和斑痕之间的明亮区域都有很大的变化，这些暗带有时消失，在几月甚至几年内都看不见（图 441）。

我们在木星上所看见的只是云隙间的大开口。由木星的反照率得知它的大气里有浓厚的云层，因为反照率有时高达 0.44。木星的大气里有强烈的气流，它并不是整个在自转。赤道上明亮区的自转周期是 9 时 50 分 30 秒，南北两半球上的暗带的自转周期是 9 时 55 分 40 秒。太阳也不是整个在自转，但是它的表面并不像木星那样，被不连续的线分为明显的带和区。我们特别提出这一点以使读者注意太阳和木星并不相似。

木星上的带的浓度和结构虽然变化多端，可是在木星球面上的位置却是固定的。我们把两纬度圈之间的暗区叫做带纹，两条带之间的明亮区域叫做条斑，条斑和带纹都是木星球面上的围绕物，平行于赤道而环绕着木星。赤道区上有一条斑，南北两边有赤道带纹，通常是很显著的。在小型望远镜里所看见的便是这些赤道带纹。在两半球上纬度较高处，便有一条温带区的条斑和一条温带区的带纹，最后还有极区的条斑，所以总共有 9 区，我们将从南极起大略加以叙述，在望远镜里因倒像的缘故，所以是从上面开始叙述(图 442)。

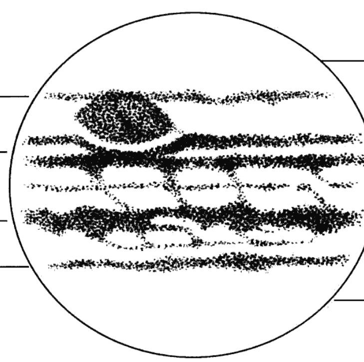



图 442　木星上的带纹和条斑的示意图

南极条斑常昏暗，呈暗灰或蓝灰色。南温带带纹在可见的时候常表现出黑暗的斑痕和明亮的裂缝。

南温带条斑常带有很淡的柠檬黄的颜色，我们很少在那里看见淡红色的斑痕。1927 年出现了这样的一大团，经历了几天之久。后面还要叙述到的有名的红斑占了南温带的很大一片区域，它扩大到南温带的带纹。南温带有时被南方大骚动区所占据，这是由一群无规则的紫丁香色或乳白色的小区域所会合形成的暗而长的大斑痕。1665 年卡西尼所绘的木星图上，已经有这个现象，19 世纪中期又被人观察到。1901 年出现时，先是赤道以南的带纹的扩大，随后即迅速地展开成图 443 内的情况。

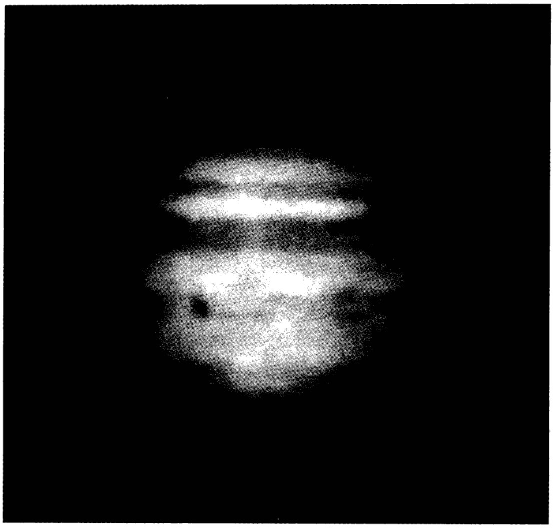


图 443　南半球的大扰动区(右上)
1913 年 8 月 11 日洛威尔天文台拍摄。

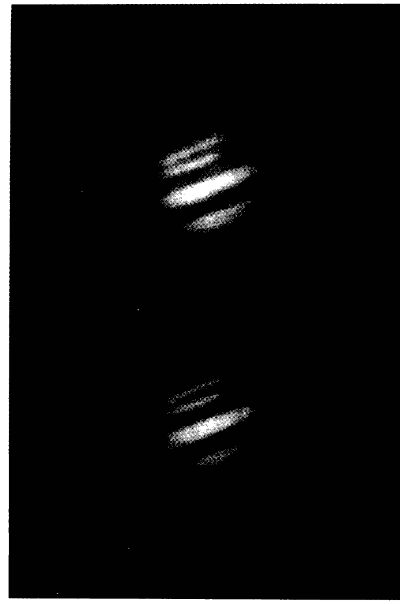


图 444　南半球的大扰动区
1922 年弗拉马里翁天文台拍摄。

南赤道带纹常是很宽的两个带,其中夹有一条比较明亮的细纹。红斑插在这里面像长的海湾那样的地方。这一带纹颜色常是很浓的,带有锦葵以至紫丁香和桃红的色彩,可是有时这一带纹却完全消逝,一点也看不见(1665 年、1875 年、1927 年和 1936 年)。这带纹的北边缘陪伴着赤道条斑做迅速的自转,同时它的南边缘却属于缓慢运行的系统,这现象真值得人们注意。这两个气流的相对速度达每小时 350 千米之快!

赤道条斑宽达纬度 22°,并非对称地分布在赤道两旁。1810 年以来阿拉戈便说明这条斑在北面比在南面要宽一些。赤道旁两带纹的暗痕常将细丝插入这条斑内,有时拖成一串极细的赤道带纹。

赤道北边的带纹和南边的带纹形态完全两样。它很少成双行出现,一般结构是没有规则的,在那里常观测到形态变化无常的暗黑的大斑痕。有时,例如 1912 年,这些斑痕又完全隐藏不见。

在北半球的其他区域,温带条斑、温带带纹以及极区条斑和南半球同名的区域大同小异。需注意的是北半球没有类似红斑的永恒结构,也没有类似大骚动区的半恒结构。

现在再回头来谈木星的红斑,从 1665 年卡西尼发现它以后,至今仍是这巨大世界上的一大疑谜(图 445)。它的红颜色是 1872 年罗斯用自己的手制的 182 厘米大望远镜所发



**图 445 木星和它的红斑**
1945 年 3 月 20 日拍摄。

觉的。1879 年至 1881 年间它的红色异常鲜明，只需一具小的地面望远镜便可辨认出来。后来它就退色了，直至 1927 年至 1937 年间，它又重新鲜明起来。1951 年它的颜色是淡玫瑰色的。红斑是木星上唯一的永恒的细节，它的形状是卵形的，长轴约长 4 万千米，是地球直径的 3 倍。它在木星上的相对大小，犹如澳洲之在地球上那样。它的自转周期是变化无常的，一般是 9 时 55 分 38 秒，和缓慢部分的周期相差很少，但位于相同纬度上的南方大骚动区的自转周期就要短 10 秒。在有些时期里(1910 年、1913 年)我们看见大骚动区加速地赶上红斑，与它联合在一起，继之又超过它向前，并给予红斑一种激励。红斑常常是可以看见的，绝没有沉没，好像是浮在液体海洋上面的东西一般。

从前人们相信行星都是从火里生成的，有些天文学家还把木星当做是没有冷却的小太阳，有一位甚至说木星的表面还处在显示暗红色的高温的情况下，并且说这是可以从观测它在它卫星的影子里得到证明的。事实却和这种小说式的看法两样。利用温差电偶，今天我们已经测得木星表面的温度很低，低至－140℃。在这样的低温下，如在寻常大气压力之下，只有难于液化的物体才维持气体的状态，木星上的大气也许压力很高，因为那上面的重力是地球上重力的 2.6 倍。

我们再从它的大气的光谱分析结果去看一看这个奇特的星球。1864 年哈金斯(Huggins)在木星的光谱里发现一条带状光谱，是他无法验证的。他以后又发现一些带状光谱也都无法解释，不知道它们究竟属于哪些已知的元素或者化合物。这个谜终于在 1931 年被维耳特窥破。他证明这些未知的光带是由于木星的大气里有我们熟悉的两种气体，即

甲烷($CH_4$)和氨($NH_3$),而并不是未知的、稀有的如像氦和氩那些气体,只是两种普通的臭气罢了(甲烷即沼气)！云的散射光所穿过的甲烷的分量在标准情况下约成130米厚的一层,至于氨的分量仅有7米厚的一层。另一方面,还有很好的理由假想木星大气的主要成分是氢和氮,但是这些气体在其所处的物理状况下是很难被人察觉的。

由此可见,木星是一颗质量很大、密度很小、表面很冷的行星,可是又有很密的云层悬在很丰富的大气里,这些大气主要的成分是氢和氮,再加上甲烷和氨,也许还有一些别的不能从光谱分析表现出来的气体。

木星绝不是一个小型的太阳,也不是一个大型的地球。如果要对它的结构有一番了解,首先必须忘掉我们的地质情况。

有一个观念首先要放弃的,那便是前人未经讨论便承认所有的行星必须有一个岩石的壳,主要是硅酸盐所构成的硬壳。这在水、金、火三颗行星也许是正确的,但对于木星却该有另外一种想法,寻找出另外一种结构。因从行星的表面至中心压力增加得很快,所以密度也向中心增长。木星表面的密度一定小于甚至远远小于它的平均密度1.33。我们由此断定木星作为球体,不但是表面甚至达到相当深处都是流体状态。没有理由说它的表面和它的大气在组成上有很大的差异。我们假想木星的主要成分是氢和少量别的元素,轻如氦,重如氧、碳、氮、硅和金属元素等。这也是今天被认为是太阳的组织成分,显然原始星云就有这样的成分。这些混合物的密度从表面向中心逐渐增长,达到中心时,可能为水的密度的5倍。在大气里,即在相当薄的最外层,氢可能是气体,但在表面以下一直到几千千米深处,它可能是液体。所以木星可能被液态氢的海洋所盖住。再下去这些混合物可能是固体,在很大的压力下,它们可能有一些奇特的性质,可以像金属那样成为热和电的传导体,所以行星的核心处可能将那里的放射元素所产生的热量向外发泄。总之,木星的核可能是一个大冰块,"冰"这个字在这里是指一切液体或气体物质变成固体状态的意思。

至于木星的大气,即直接观测所能达到的表面层,其结构的复杂,上面已经说过。可是在没有大陆的一片海洋上面,这种大气的一般运动比地球上的大气要简单得多。赤道和极区的气流,在某些纬度处是向上的运动,在另一些纬度处是向下的运动。恒常的气流具有各种速度,永久保持那样的情况,即造成我们所看见的那种分带、分区的现象。木星的迅速自转在这机制上当然很有作用,我们不能在此详尽地叙述了。

木星的平流层几乎全是氢气所组成的,那里的温度可能低到$-175℃$。在平流层和海洋之间是真正的大气层,这一层很稳定,是气象现象发生的所在地。从上到下温度和气压

同时都在增长。在某些层内物理情况合宜,可能使晶体的氨形成真正的雪。木星上的明亮区有可能是氨的卷云带所形成的。在极区似乎没有这样的卷云。

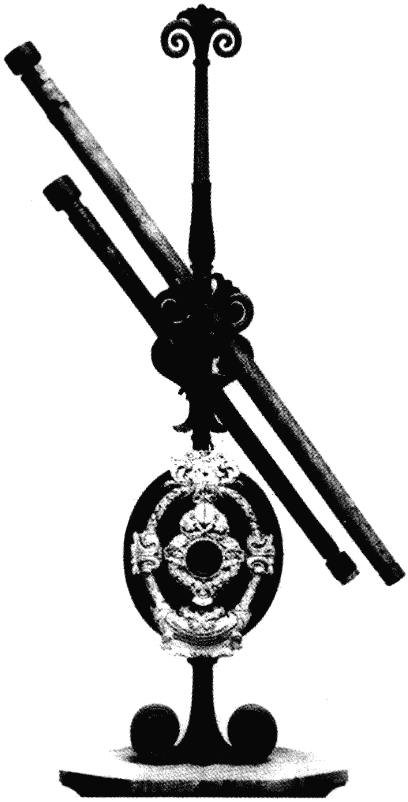


图 446 伽利略望远镜
藏于佛罗伦萨科学史博物馆。

至于红斑,也许是浮在氢液海洋里的大冰山,也许是浮在快近液化的、很密的大气里的物质。维耳特说:钠和氨所合成物体的颜色很像红斑,所以将钠列入木星的组织成分里去也不是不可能的,不过含量究属很微小罢了。

对木星本身的研究虽然很有趣,但是我们不得不至此为止,再去看一下它的卫星。伽利略首先把他的第一架望远镜拿去观测木星,他看见这球体周围有许多明亮的光点,起初他以为是恒星。但是因为它们陪伴着木星在运动,而且围绕着木星由右到左地走过去,再回到右方来,这样循环不已,伽利略很快就认识到这是四个小球。它们围绕着木星遵循不同的轨道在转动,因此是它的卫星,正如小型的太阳系一样。自那一天起(伽利略第一次看见这现象是在 1610 年 1 月 7 日),便是哥白尼的理论奋斗期的终结,胜利期的开始。

伽利略所发现的卫星都是比较明亮的,它们的星等在 5.5 至 6.7 之间,如果它们离木星相当远,躲开木星的光辉时,我们是可以用肉眼看见它们的。视力好的人在大距时至少可以看见最远的两颗。只需有一具观剧镜,便可将四颗星一起看到(图 438)。

伽利略把他在望远镜里所发现的这些卫星叫做默底西斯〔佛罗伦萨的贵族。——译者注〕星群,但是这个阿谀的称呼没有流传下去。按着离开木星的距离次序,人们给了它们以神话里的名称,如伊奥、欧罗巴、加尼默德和卡里斯托,有人更给以罗马数字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ的记号。这些卫星的体积都相当大,比最大的小行星还大。按照测微器的测量,它们的直径分别是 3 735 千米、3 150 千米、5 150 千米和 5 180 千米。最后这个数字不太准确,因为木卫Ⅳ太昏暗(特别在边沿处),使得直径的测量特别困难。因为我们可以由这些卫星彼此

间的摄动求出它们的质量，所以容易算出它们的密度。按照以上的次序，它们的密度分别是 3.3、2.8、2.8、1.2。前三个木卫的密度显然比木星更大，至于木卫Ⅳ的密度要小些，也许它的体积比现在测定的要小一些。总之，木卫Ⅳ和别的三颗木卫有相当大的差别。

木卫Ⅰ距离木星的中心是 5.9 个木星的赤道半径或 42.1 万千米。绕木星公转的周期是 1 日 18 时 28 分。它比月亮还要大一点。当它投影在木星的边缘区的时候，它像一个光点被衬托在暗的背景上，可是当它投影在木星的圆轮中心的时候所表现出的现象恰好是相反的情况。木卫Ⅰ和其他三个木卫一样，常将它同一半球对着木星，正如月亮绕地球转动时的情况一般。我们可由此判断木星对于这个小球的引力渐渐使它改变形状，使它变得有些扁长。但是地球上的观测者在它每一公转周期里，却看见它表现出整个面貌，在巨型望远镜里还可以研究它极区上特别昏暗的斑痕，人们甚至描出木卫Ⅰ的平面图。木卫Ⅰ的研究在天文学的发展上曾经起过很大的作用，罗默曾因研究木卫Ⅰ被食而发现光的速度，这是 1676 年他在巴黎天文台的一件伟大发现。在长时期里人们利用木卫Ⅰ的被食来决定经度，事实上这现象是地球上同一半球同时可以见到的光的信号，在这信号下所测定的地方时，便容易而且确切地加以比较，于是由地上两点的地方时之差，便可推出这两点的经度之差。现在所使用的无线电信号的方法，当然是更确切得多，但是，在木卫发现以前，人们对于经度的测定很不精确，所以这件事也表明了地理学发展到另一个阶段。当法国科学院将法国的地图进呈法王路易十四的时候，布雷斯特和巴黎的经度圈之间的距离，因为经度修正的缘故，所以由 600 千米减到 500 千米，法王惊异地指出他的疆土一下就小了这么多！

木卫Ⅱ在 9.4 赤道半径或 67.1 万千米处，以 3 日 13 时 14 分的时间绕木星公转一周。它比月亮稍微小一点。当它在木星前面经过的时候，它仍是一颗放射光辉的乳白色的亮点。

木卫Ⅲ这颗卫星很明亮（星等 5.5）。在中型望远镜里它的圆轮已很显著。它的距离是木星半径的 15 倍，或者是 107 万千米。它比月亮和水星还大。它带有黄红的色彩，当它投影在木星边缘部分的时候它是明亮的，到了中心区的时候就变成黑色了。木卫Ⅲ也许有大气，它的表面上有永恒的、具特征性的、反衬度强的斑痕，但是在它的东方有匆匆而过的白痕，很像一团雾气。

木卫Ⅳ到木星中心的距离是木星半径的 26.4 倍，或者 188.2 万千米，木卫Ⅳ和木卫Ⅲ差不多一般大，但亮度却小得多，星等是 6.7，已达肉眼能见的极限。在望远镜里它光线暗淡，从木星面前经过的时候，它总是一个黑点。

最近的三个木卫在每一公转周期里，都绕到木星后面去，进入它的影锥，因为这三个木卫的轨道平面和木星的赤道平面很接近，而且和木星的轨道平面所成的角也很小。所以它们有时被遮在木星的后面叫做掩，有时落在木星的影子里叫做食。在冲日前，食先于掩；在冲日后，掩先于食。只有木卫Ⅳ有时才能在木星本体和木星的影子的上面或者下面经过，例如自1945年8月至1948年10月，又自1951年8月至1954年7月，木卫Ⅳ无食。木卫可从木星前面经过，前三个木卫在每周期里都是这样，木卫Ⅳ有时会凌木星的表面而过，那时它们投影在木星的圆轮上。需用一具质量好的望远镜才看得见这些奇特的现象，特别是找出在木星表面上的木卫(图447)。

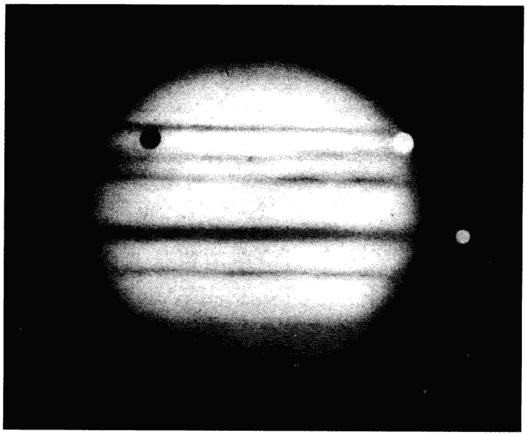


图447　1930年12月8日木卫Ⅲ和它的黑影经过木星的表面时，木卫Ⅰ才从被食后出来(施隆贝格描绘)

在冲日的期间，每夜可以几次看见这些现象，它们连续发生的迅速和变化的多样，是值得人们注意的。读者如果能用几夜去观看木星，注意这旋转中的球体、它上面的环带和它们的变化以及它的卫星群，你就会明白“天不变”这句话是不正确的。

木卫Ⅰ、木卫Ⅱ、木卫Ⅲ的各自运动有密切的关系。自然它们都遵循开普勒的第三定律，而且它们轨道的半径，根据拉普拉斯的看法，有一种特殊的关系：“木卫Ⅰ的经度(从木星上看到的)减去木卫Ⅱ的经度的三倍，加上木卫Ⅲ的经度的两倍常等于半圆周，即180°。”拉普拉斯说：“这不是因为原始的时候，这三颗卫星就安放在这样适当的距离和位置上所造成的结果，很可能是由于一种特殊的原因造成的。”拉普拉斯便从这些卫星相互间的作用去寻找这个原因。他仔细研究了这相互的作用，终于明白为什么有这严格的关系。并不是一开始就有这个关系，即使这三颗卫星的运动和经度不适合这个关系，它们相互间的作用也必然会建立起并维持这个关系的。木卫Ⅳ并不包括在这奇怪的关系里，它的运动和别的三颗木卫没有关系，不过它还是一样遵循开普勒的第三定律。

拉普拉斯所发现的这个定律有下列的几个结果：前三个木卫绝不会同时被食，亦不会同时过木星的圆轮；如果木卫Ⅰ和木卫Ⅱ同时被食或被掩，或者同时过木星的圆轮，那么木卫Ⅲ必在它的或东或西大距处(图448A)；如果木卫Ⅱ和木卫Ⅲ同时被食或被掩，木卫Ⅰ必或凌木星表面经过，如果木卫Ⅱ和木卫Ⅲ同时投影在木星圆轮上面，木卫Ⅰ必或被食

或被掩(图 448B);如果木卫Ⅰ和木卫Ⅲ同时被食或被掩,木卫Ⅱ可能占据下列三种位置之一,凌木星表面经过,或者在另外两木卫的前面或者后面 60°。如果木卫Ⅰ和木卫Ⅲ一齐经过木星的圆轮,木卫Ⅱ可能或被食或被掩,或者距离别的两个木卫成 60°的角(图 448C)。

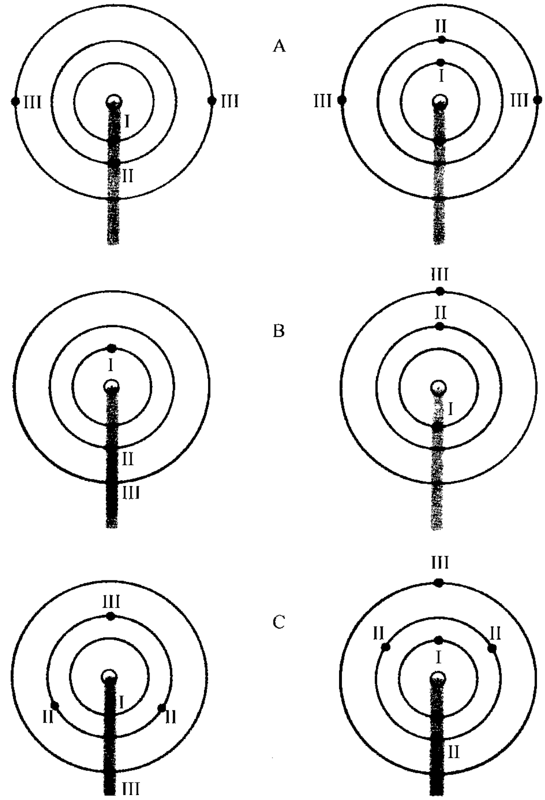


图 448　木星的三个卫星的奇特位形

由此可见,木卫Ⅰ、木卫Ⅱ和木卫Ⅲ可能同时被看不见,可能两个被食或被掩,同时另外一个凌木星的表面,或者一个被食或被掩,另外两个凌木星的表面。如果再加上木卫Ⅳ被食、被掩或者凌木面,便有一些时刻木星好像缺少了卫星。这种木卫全隐匿的情况是罕见的。1939 年 7 月 17 日 4 时 12 分至 5 时 0 分出现过这样的情形,那时木卫Ⅱ、木卫Ⅲ、木卫Ⅳ被食或被掩,同时木卫Ⅰ凌木面而过。由于这些现象的重演并无一定的周期,如果我们没有卫星的星历表〔天文年历或天文年鉴中载有木卫观测一项,例如 Annuaire Astronomique Gamille Flammarion——原注。在苏联每年出版的《天文历》中都有木卫观测的图解说明。——校者注〕,我们便不会事先推算得知。

直至 1892 年天文学家以为伽利略所发现的四颗木卫已经是这个大行星所有的卫星了,可是一位好奇的观测者巴纳德,用里克天文台的大望远镜在木星的附近仔细寻查,那年 9 月 9 日他发现第五颗小卫星,星等为 13,距离木星 2.5 半径,以 11 时 57 分的周期环绕木星运行。这个意料不到的发现再一次说明了我们总是应该不断地在天上寻找的。木卫Ⅴ比以前的木卫小很多,直径大约只有 190 千米。木卫Ⅴ名字叫阿玛尔特,根据神话她是曾哺育过丘比特的母羊,后来成了他的养母。1904 年珀赖因(Perrine)所发现的木卫Ⅵ更小,直径只有 140 千米。它比以前几个卫星更远,周期 251 日。

自 1905 年至 1951 年我们还发现有另外六颗直径很小的木卫。其中两颗的周期是

260 日，另外四颗的周期分别是 600 日、692 日、739 日和 745 日。其中最大一颗的直径还不满 40 千米。最值得注意的是最后四颗木卫围绕木星运行的方向和另外几颗的方向相反。在太阳系的叙述里，这是我们初次遇见的四颗星，四颗很小的星，它们的运动是逆行的。直到这一章我们所说过的行星和卫星都是按顺向运行的，而在土星的系统里最外一颗卫星以及天王星的系统里的四颗卫星都是逆行的，这同样使我们感到惊奇。




图 449　土星神(萨杜恩)的座车(18 世纪德国的木刻)

# 第三十二章

# 土星——太阳系里的奇观

土星和围绕着它的光环,是天文爱好者在望远镜里所看见的最美丽的天体。形态稳定,比例恰当,真是一件完美的艺术品。老练的观测家虽然千百次地看见过土星进入他望远镜的视场里来,但是还会像从前一样发出赞美的呼声。

这颗奇妙的行星,直至 18 世纪,还被人当做是太阳系的边界。17 世纪人们已经知道它的轨道,光线要用至少 2 时 40 分的时间才穿得过去,人们把这成就自然地引为骄傲。古人以为土星是嵌在晶莹般球内的小宇宙,现在我们的看法和他们的见解已经相差很远了!

土星并不是最末一颗行星,然而是肉眼所能看见的最末的行星。它没有木星那样明亮,它的亮度较暗而且较冷。中世纪的星占家以为土星具有恶魔般的影响,它是掌管时间和命运之神,对于它所控制的生命,是只会给予灾祸的。

土星过近日点的时间,前次在 1944 年 9 月 8 日,两次在 1974 年与 2004 年。那时候它距离太阳 13.5 亿千米。1959 年土星经过远日点,它距离太阳将是 15.09 亿千米。它的轨

道偏心率是 0.056。

土星的公转周期是 29 年又 167 日，它的冲日来复的会合周期是 378 日。土星在黄道的每一个星座里平均有 2.5 年之久。因为它的轨道的交角只有 2°30′，它总是离黄道不远，可是还不及木星那样贴近黄道。它的冲日期每年比前一年推迟 13 日，例如 1950 年 3 月 7 日、1951 年 3 月 20 日、1952 年 4 月 1 日、1953 年 4 月 14 日、1954 年 4 月 26 日、1955 年 5 月 9 日等都是土星冲日的日期。土星在一会合周期里顺行 240 日，逆行 138 日。

这一章内的图画比解说更能使读者对于土星的物理情况和它的光环有所了解，这里"光环"一词应当是复数的，因为它们实在不止一圈，而是互相套着的几圈(图 450)。土星球体比木星更扁，因为它的扁率达 1/9.6。在它的平均距离 9.55 处赤道径据测量是 17″.3，这样相当于地球赤道径的 9.4 倍，合 11.97 万千米。两极径不过是 10.72 万千米。土星与地球的体积之比，把两个球的扁度计算进去是 742∶1。它的质量是在木星质量的 1/3 和 1/4 之间，等于太阳的 1/3 502，而为地球的 95 倍。土星的平均密度差不多是地球的平均密度的 1/8，只有水的密度的 0.7！还不及木星的密度的一半，而木星密度的稀薄已经引起了我们的诧异。

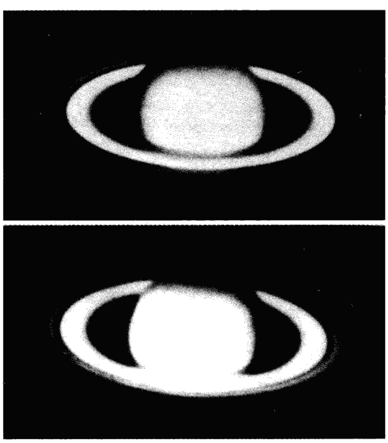


**图 450 冲日前后的土星倒像**

土星在它的光环上的黑影是由西向东(日中峰天文台的照片)。

土星自转周期是 10 时 14 分。因为它表面上很少斑痕，所以自转周期很难确定。我们说过木星的赤道和它的轨道的交角很小，可是土星的赤道和它的轨道的交角竟达 26°44′之大。所以土星以它的两极交替地对着太阳和地球，它表面上的带纹呈现显著的弧线，不像木星的带纹那样总是直线形的，但是当土星经过它的一个二分点的时候，地球便会接近土星的赤道平面。土星于 1921 年 4 月 9 日和 1950 年 9 月 21 日过它的春分点，下次将在 1980 年，比上述日期早几天内再过那一点。1907 年 7 月 26 日和 1936 年 12 月 28 日它曾经过它的秋分点，下次再过当在 1966 年与 1995 年内。太阳在土星的北半球之上有 15 年零 9 个月，在南半球之上有 13 年零 8 个月。因轨道的偏心率的缘故，四季在土星上如在地球上那样长短不等。

以上这些说明好像过于繁冗，但是当我们明白土星的光环的平面恰好是它的赤道平面的扩大的时候，这些说明便有特别的意义了。光环像一顶巨大的圆形冠冕，却是非常之薄，如果做一个 1 米直径的模型来表示光环，它的厚度只有一张纸那样薄！

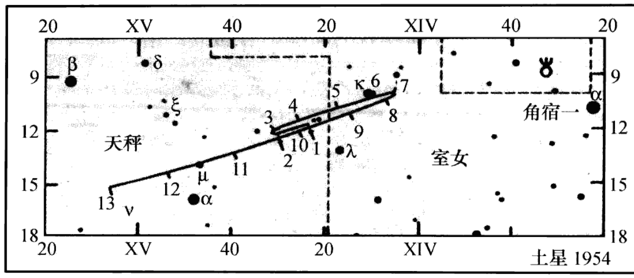



图451　1954年土星的行踪
取自《弗拉马里翁天文年鉴》。

光环的平面伴着赤道运动，光环的表面依次地被太阳照射着，北面被照15年零9个月，南面13年零8个月。过二分点的时候，太阳的光线只掠过光环，使它显得奇特地细如一线，肉眼就看不见了。在土星的二分日前后一些时候，地球过光环的平面，光环消逝不见，因为在这样的透视情况下，那样薄的一层是不会被人察觉的。事实上土星过二分点的时候，有几个月好像没有光环。这以后，接着太阳和地球都离开光环的平面，光环便呈张开的形象，过后几年光环包围着土星和两极的情况，完全可以看见。在小型望远镜里土星好像是一颗橄榄的形状。

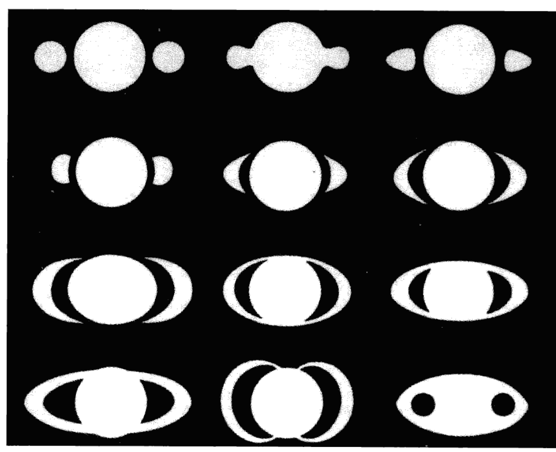


图452　光环发现以前，人们眼里的土星

这种隐而复现、现而复隐的情形一直使观测者感到苦恼。1610年正当光环快要闭合的时候，伽利略以为在土星两旁看见两颗小星，按照他的习惯他把自己的发现写成暗语，以后他自己解释了他的暗语，说："这两颗星是帮土星寻找路径的仆从。"可是1612年它们却不见了！1616年伽利略又看见了它们，但是总没有了解它们究竟是什么。在很久的时期内土星被人认为是三联的行星。赫维留、席奈尔、丰塔纳(Fontana)、里希奥利(Riccioli)、伽桑狄所绘的土星图都在旁边加上两个把柄，丝毫没有想到它们的结构(图452)。1656年惠更斯所看见的土星，并没有这两件装饰品，而只有横贯它赤道的一条暗线。惠更斯后来才明白这是光环在球上的黑影。1656年年末光环张开(图453)，但直到1657年惠更斯才分辨出光环和行星之间是有罅隙的。当他不再怀疑的时候，他才于1659年把他的发现刊印在一本小册子里。土星的"柄"呈周期

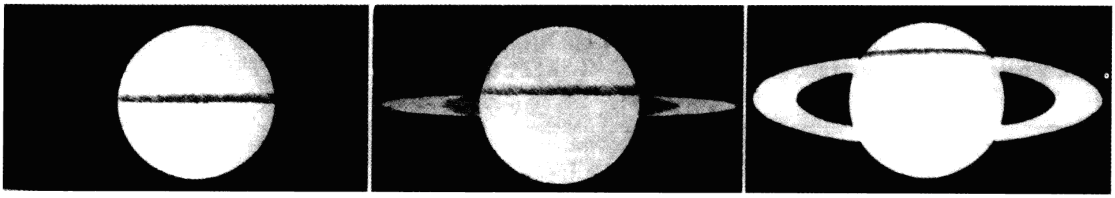


图 453　惠更斯发现的光环
自左至右:1656 年 1 月、10 月和 1659 年 2 月的观测。

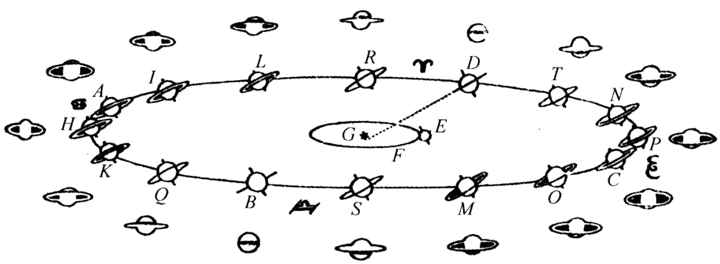



图 454　惠更斯绘了这幅图以说明土星光环的位相与消逝

性隐匿的现象才完全得到解释,我们把他所绘的图(图 454)复制在这里,读者一见便明白光环隐现的缘由。这个隐蔽真相的帷幕差不多经历半个世纪才被揭开。光环是环绕而不接触土星的这一看法,起初还是有人反对的,但是最后的障碍终于被下列的观测所排除:1662 年奥佐(Auzout)看见土星投在光环上的影子,卡西尼还发现外环和中环之间的空隙。1850 年邦德(Bond)还完成了惠更斯的工作,发现了内环没有其他两环明亮而且是透光的,有暗环的称号。内环常不显现在照片上,除非当它经过土星球面的时候,以黑影的姿态被衬托出来。

外环又称 A 环,在它的长条上有几处最亮的地方,中间隔些暗线,都很弥散,难以区别。中环又称 B 环,外边沿处很亮。它和 A 环之间有卡西尼环缝,那是一条绝对黑暗的宽线,这在本章所附的图上,特别在图 450 上很显著。B 环上有分环,它不及本环紧密。内环又称 C 环,是被李奥环缝所隔开的。

这些光环的直径分别为:A 环 27.6 万千米与 24.1 万千米,B 环 23.3 万千米与 17.5 万千米,C 环 17.5 万千米与 14 万千米。卡西尼环缝宽 4 200 千米,C 环到土星赤道的距离约 1.1 万千米。

这顶冠冕究竟是什么?是固体、液体,还是气体呢?天体力学对这问题给予了一个明确的答案:唯一可以存在的光环当是由无数各自独立的小质点构成,它环绕行星并以不同的速度按照开普勒第三定律而运行。1705 年卡西尼已经主张光环的现象是由许多很小

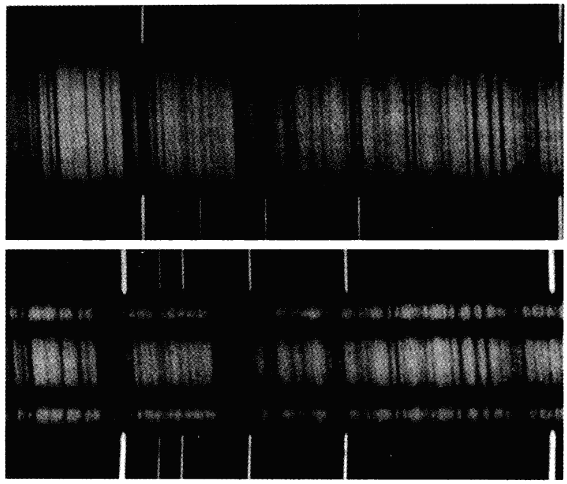


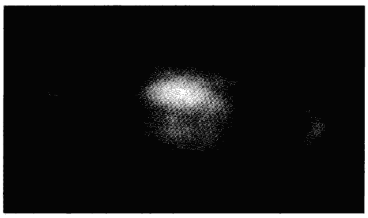
图455　木星和土星大色散的光谱，它证明了这两个行星的自转

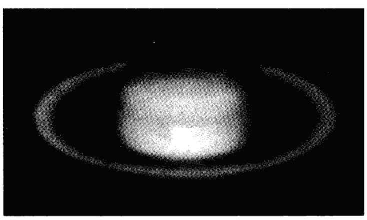
而为肉眼不能分辨的卫星所形成的。1848年洛希(Roche)由计算证明，一个和行星密度相同的大卫星不能够在小于赤道半径2.44倍的距离上运行。如果有一颗卫星在短于这距离之处形成，它将因潮汐的作用而破裂成一大堆碎片，终致形成为光环。1857年麦克斯韦(Maxwell)也独立地得到同样的结论。还待证明的便是光环不像固体的冠冕那样整个地在转动。这是1895年基勒(Keeler)和德朗达尔(Deslandres)做过的工作，他们借摄谱仪(图455)测量形成光环东边沿质点的聚拢速度和形成西边沿质点的分离速度。这两位天文学家求得这些速度和质点对于土星中心的距离的平方根成反比，这正是开普勒第三定律所需要的(见第十五章)〔如果我们把行星的像放在摄谱仪的光缝上，并且将光缝放在和行星的轴正交的一个直径上，我们所拍得的光谱谱线相对于光谱的谱线本身是倾斜的。这是由于行星自转因多普勒效应产生的结果，原因是一边沿接近我们的时候，另一边沿远离我们。图455内木星的谱线的倾斜很明显。同一图上土星的光谱是由三部分所组成，中间一部分是土星本身的光谱，谱线倾斜的方向和木星的相同。两旁的两条是光环的两柄部的光谱，谱线好像是破裂的，两旁的谱线并不整齐地排列在相同的线上。这是光环不像固体整个地在转动的直接证据。精密的测量表明组成光环的质点的轨道速度与它们对于行星中心的距离的平方根成反比(开普勒第三定律)〕。每一个质点都像是各自独立地在运转。拉普拉斯证明经过长时期之后，这些质点的轨道将是圆形的，位置在土星的赤道平面上，因为土星的赤道凸出部分的引力，不许可这些质点离开它的赤道面。

至于在光环同心层之间的清晰或者模糊的缝隙，是质点密度很小的区域或者甚至完全没有质点，即像卡西尼环缝那样的区域。可见土星的光环和小行星所形成的环之间有一种奇特相似之点，因为我们在前一章看过小行星因受木星引力的作用，它的环亦有一些空隙。在土星的情形，也许是由于它的几个里面的卫星造成了光环上的空隙。假使有一颗卫星可以安稳地(事实上自然不是那样的)恰好经过卡西尼环缝的中央，它的公转周期会是大约11时，即大约是土卫Ⅰ周期的1/2，土卫Ⅱ周期的1/3，土卫Ⅲ周期的1/4。这三颗卫星综合的作用很快就把那颗假想的卫星从那里赶出去了。

假使光环是固体的，不管形成的时候它的中心是怎样地放置好，但因受到行星的引力的作用，终于会接触到中心的球体，因碰撞而破碎。假使光环是流体的，它也必定分裂成块状，产生卫星。这种状态下的物体都不会造成一片稳定的卫星环。

B环的外部比土星本身还明亮得多，组成它的质点的散光能力差不多等于雪的散光能力。柯伊伯根据他的分光光度观测，设想土星（至少它的表皮层）是凝固的水。在－200℃的低温下，冰可能在行星际的真空里保持很久。


图456　1933年8月的白斑


图457　白斑过圆轮的中心，1946年2月11日

土星光环的奇特之处一向吸引我们的注意，使我们忽略土星本体。和木星一样，土星的球面上也有沿纬度圈的带纹，只是远不及木星上的那样显著、那样活跃罢了，而且需用大型望远镜才辨认得出其中的特点。威廉·赫歇尔使用他的具有铜镜的大型望远镜观察出一些特点，并算出它们的自转周期是10时16分。1876年霍尔在华盛顿发现土星的赤道区有一块明亮的斑痕，持续一个月之久，求得它的自转周期是10时14分24秒。1903年巴纳德在北纬35°处看见一块淡白的斑痕，它的转动周期显然比在赤道上的斑痕长些，达10时38分。赤道区还有别的斑痕1933年为阿伊(Hay)观测到（图456），1946年又有丹戎、李奥、卡米合耳等观测到（图457）。这都是既稀罕又容易消逝的现象。

土星的极区色调常是很浓的，暗的极冠在北极比在南极要小些，但要浓些。南温带区有时带一点蓝色，有时出现宽的带纹。在北温带区里有时也发现暗的带纹。

赤道上的两个暗带纹是土星面上最显著的标志，但当光环大大张开的时候，其中一带就被掩盖了，所以在土星的二分期才容易做这种比较的研究。例如1937年南带纹变成了两条浓度相同的带子，北带纹也变成了双带，但不及南带纹那样高，而且它北边的一个分带更模糊。

赤道区常比土星上各区明亮得多，甚至可像1950年那样白得耀眼。有时这种变化只是局部的，这便是以上所说的容易消逝的白色斑痕。在赤道上可以出现一条浅灰色的细带，它常是弯曲而不连续的。

总之，土星表面的结构比木星的简单得多，带纹没有那样显著，颜色也没有那样鲜明而多变化。虽然这样，木、土两行星之间类似之点却不少。由光谱分析得知在土星的大气

里也像木星那里一样，有甲烷和氨，而且甲烷更丰富，氨比较少些。我们可以猜测土星里有大量的氢、氮与氦。

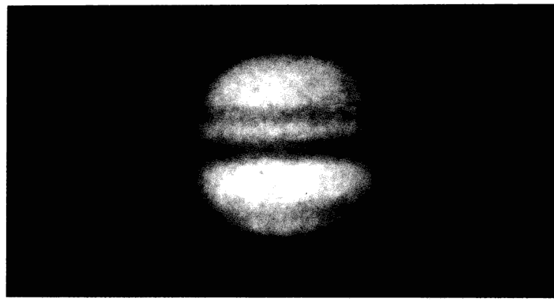


图 458 1937 年的土星，光环不见，但光环的黑影投射在土星的赤道带上

在土星表面上被看见的云可能是晶体氨所构成的，它表面的反照率和木星的反照率大致相同。用温差电偶测出它的温度是－145℃。对于地球上的人看来，这温度好像是很低，但是在物理学家看来，这却是高得有些不合理。因甲烷和氨在土星表面所组成的云层，像我们温室上的玻璃一样，保持住太阳的热量，如果不因为这些气体大量的存在，温度可能更低得多。

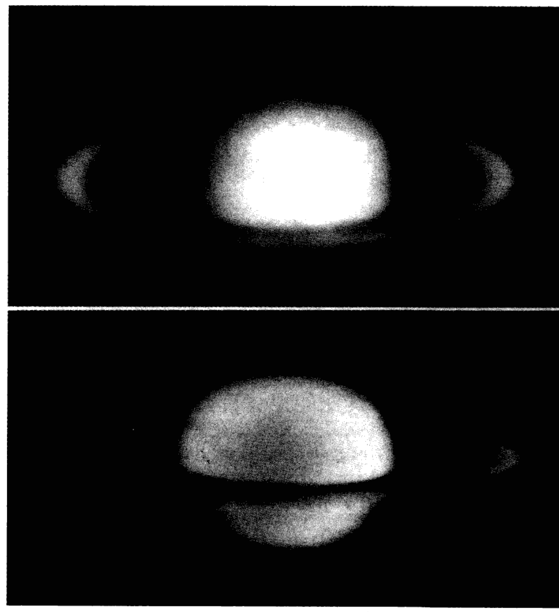


图 459 上图：1946 年 11 月 4 日光环的影投射在土星表面上，光环的黑影在外面；下图：1949 年 4 月 16 日，光环的黑影在环圈内侧

土星内部的构造与所说过的木星的情形类似，我们就不再叙述了。因土星的平均密度比水的密度还小，大气下不可能有岩石壳的存在。土星的核心处因有很大的压力，可能是固体化了的气体所组成的，上面覆盖着液态氢的海洋，亦如木星的情形那样。

土星不但是戴有光环构成的冠冕，而且还有一大群的卫星陪伴着。最大的一颗是土卫Ⅵ，它于 1655 年被惠更斯发现，可以用地面望远镜看见，星等 8，以 15 日 22 时 41 分的周期在离土星 20.5 个赤道半径或者 76 万千米处，绕土星运行。在土星的二分期的时候，这颗卫星在每次公转里都受到食和掩，并且经过土星的圆轮，但是在几个月以后这现象就没有了，一直到 13 年或 14 年以后才能再度出现。土卫Ⅵ的直径超过月亮，实长 4 200 千米，其上有大气。柯伊伯在它的光谱里发现甲烷的吸收光带。

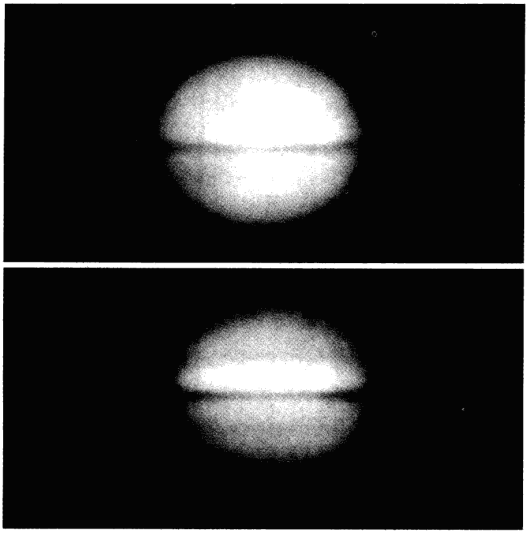


图460　1950年4月7日地球离光环的平面只有4°.5，光环将要合拢，不能看见；1951年4月15日地球在光环上1°.7，光环又快要重新出现在我们眼中

以可见度的次序排列，其次便是土卫Ⅴ、土卫Ⅲ、土卫Ⅳ和土卫Ⅷ，都是卡西尼于1671年至1684年间在巴黎天文台所发现的。他第一次看见土卫Ⅲ和土卫Ⅳ是在一具口径11厘米焦距30米的望远镜内，物镜放在高楼的平台上，观测者在庭园里用一具放大镜当做目镜去寻找，因镜筒太笨重，故不使用。卡西尼所用的物镜现今还保存在巴黎天文台内。以上这些卫星在天文爱好者的小型望远镜里都看得见。1789年赫歇尔所发现的土卫Ⅰ和土卫Ⅱ，特别是1848年邦德所发现的土卫Ⅶ，就比较难观测些。土卫Ⅸ周期为550日，是最远的一颗(214个半径)，和木星的四颗卫星一样，运动是逆行的。

还有在1900年由皮克林(Pickering)所发现的土卫Ⅹ，好久以来都没有被人再度看到。

除了土卫Ⅵ，其他的卫星都很小，土卫Ⅴ或土卫Ⅷ的直径不过1 800千米；土卫Ⅲ或土卫Ⅳ是1 200千米；土卫Ⅰ、土卫Ⅱ或土卫Ⅶ大约是600千米；土卫Ⅸ最小，其直径只有200千米。土卫Ⅷ应当特别提出来说一下，一则因为它的轨道和光环的平面交角很大(这是除了逆行的土卫Ⅸ以外，别的卫星所没有的情形)，再则因为它的光亮是变化的。土卫Ⅷ常以其一面对着土星，在它的轨道上某些点，明亮得像土卫Ⅴ，在另外一些点上，它又暗淡得像土卫Ⅱ一般。所以它的表面上有很显著的黑斑。卡西尼已经有这个看法，他说："这颗卫星的表面反射光线，不是一样的洁净。"

在继续行星际的旅行以前，让我们设想一下乘火箭到了土星平流层上空的飞行家所看见的景象是怎样的。在赤道上沿着边沿的方向去看光环，它像一道薄而亮的拱门，从天界的一端经过天顶达到天界的另一端，把天空拦着。晚上这座拱门投在行星的黑影里，不会被看见，原来组成光环的无数微粒状的卫星都被食了。我们的飞行家朝着高纬度处向太阳照着的极地飞去，他将会看见一个巨大的圆圈逐渐长大，终于沉到地平线下面消逝。他的目光被这伟大明亮的"虹"所吸引，简直忘记了恒星和卫星，这些当中最大的土卫Ⅵ的

视直径也仅有我们的月亮的一半。当他飞近纬度63°那里，光环已经完全沉没在地平线以下了。再经过赤道到南半球去，这位旅行家将会看见光环的黑暗一面，在这些微粒之间只透过一点暗淡模糊的光辉。不久他到了光环投射影子的区域，这里虽然还是温带，永恒的日食使他有到了黑夜的极区的印象。再走上几千千米，太阳重新出现，所谓太阳不过是只有3′直径的一个大光点罢了。再走远一点，真的进入了极区的黑夜，太阳和光环都落在天界下面，只有卫星在天空里不断地表演它们的盈亏圆缺。我们的旅行家离开这荒凉的星球，将火箭指向了天王星、海王星、冥王星那些更难以住人的世界去。

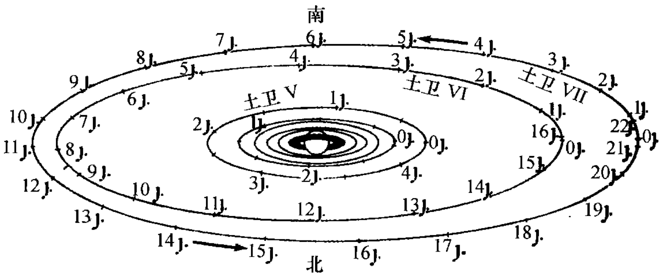



图461　1954年土星卫星的视轨道，按和土星的距离的次序：有土卫Ⅰ至土卫Ⅶ，只有土卫Ⅵ才能在小望远镜里看见

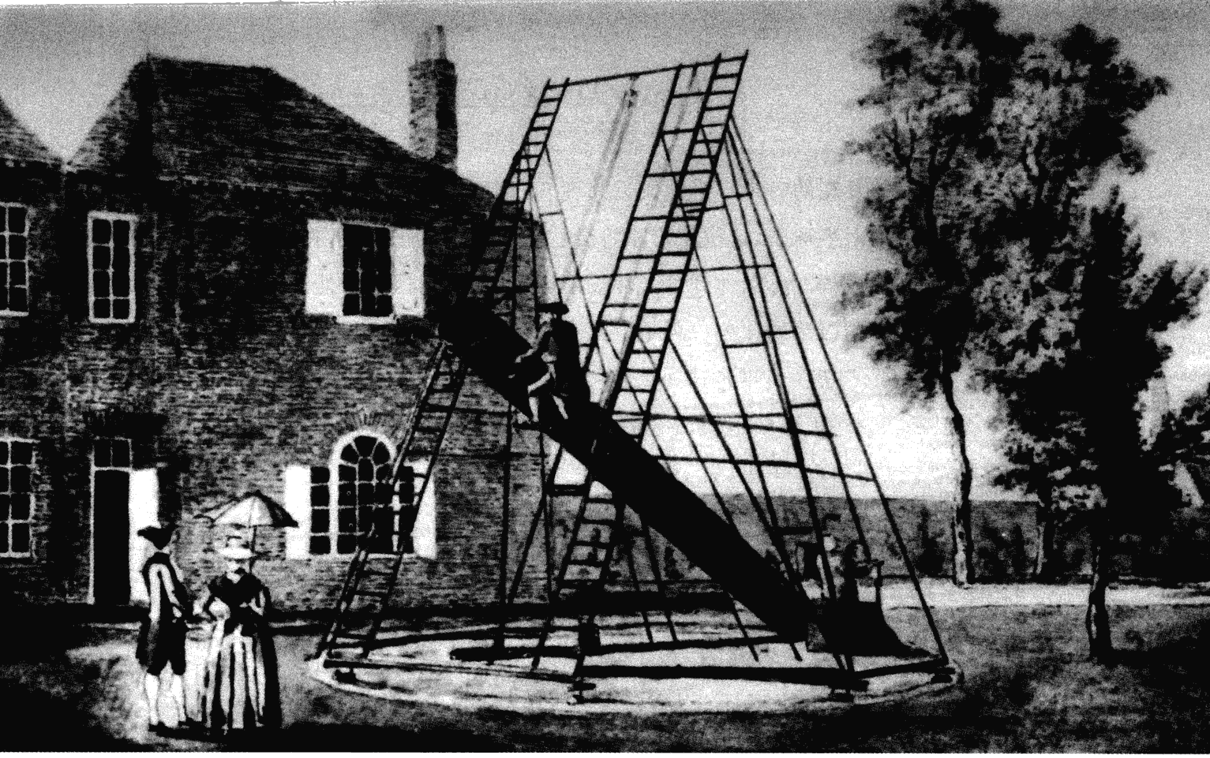


图 462　威廉·赫歇尔的一座望远镜(1783)

# 第三十三章

# 天王星——颠倒了的世界

大约 1766 年,有一位以演奏风琴为职业的德国少年居住在英国,名叫威廉·赫歇尔。他于 1738 年出生在汉诺威,自从汉诺威的侯爵做了英国的国王以后,他们可以自由地迁居到英国去住。赫歇尔是一位不知疲倦的工作者,他闲暇的时候就去阅读数学和天文的书籍。不久,他渴望有一架望远镜去窥探天上的奇观。他微薄的收入不足以付出伦敦光学仪器商人所出的价格,于是他开始亲手磨制自己所需的望远镜。屡经失败以后,1774 年他终于将自己手磨的、焦距长 1.52 米的铜面望远镜装配好去观察天象。在得到初步成功的鼓舞之后,他又制造焦距长 2 米、3 米乃至 6 米的望远镜,最大的口径达 48 厘米之长(图 462)。

1781年3月13日这位热心的天文爱好者用他的口径16厘米、焦距2米的望远镜，再配上放大227倍的目镜，对着双子座内一群小星做观测的时候，他觉得其中的一颗显现出奇特的形状：那颗星有一个圆轮，并且当他把目镜的放大率从227倍改到460倍的时候，这个圆轮的直径显得变长了。不久赫歇尔还发现这奇特的星相对于它附近的恒星在改变位置。这是一颗行星呢，还是一颗彗星？自从还没有历史以来，不算地球，行星就只有五个，望远镜发明以后也没有找到新的。

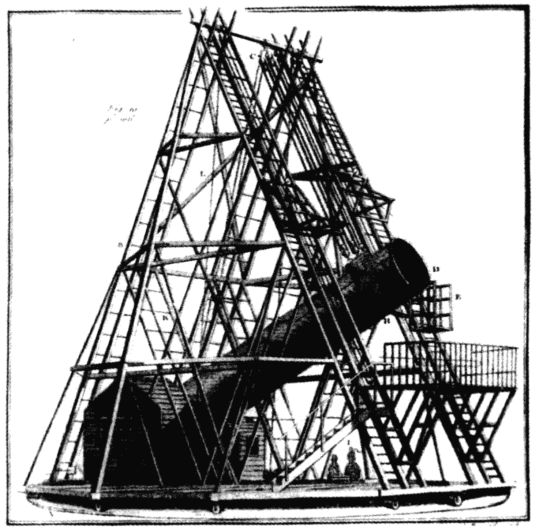


图463　**威廉·赫歇尔所造的大望远镜（口径122厘米，1789年）**

赫歇尔没有那样大胆地把这颗未知的星当做是一颗行星，虽然这颗星既无尾又无发，他毫不迟疑地把这颗星当做是彗星。1781年4月26日他向皇家学会提出一篇报告，题目就叫做“一颗彗星的报告”。

随着这个发现的新闻使这位精通音乐的天文学家的名声传遍欧洲。许多天文学家都去观测这颗“彗星”，为的是要决定它的轨道。他们想这颗星和别的彗星一样在很椭长的轨道上运行，过近日点时很接近太阳，但是从这样的观点去计算轨道总不成功。他们终于认识这颗星的轨道差不多是圆形的，比那时太阳系的边界土星的轨道还要远离太阳，于是人们经过了很久的迟疑，才公认它是一颗行星。真的，要把太阳系的范围扩大，在事实上比在想象上更加困难，因为因袭的力量太大了。人们在长时期里已经习惯把老土星当做是边界的看守者，需有革命精神的人才能推广疆域，承认新的世界。威廉·赫歇尔建议把他发现的行星叫做乔治星以纪念当时英国的国王乔治三世；别的人忠于神话的传统，建议把它叫做天王，他是萨杜恩（土星）的父亲，诸神的前辈，曾被人忘怀了许多世纪，应该加以纪念。天文学家拉朗德把发现者的姓氏加在这颗行星上，把它叫做赫歇尔，使人和天共垂不朽。于是“天王”和“赫歇尔”这两个名称一起流行了很久。1846年勒威耶研究这颗星的摄动的时候，它还有赫歇尔的称号。但是习用已久，人们终于愿意采取神话上的名称，于是朱庇特（木星）、萨杜恩（土星）和乌拉诺斯（天王星），子、父、祖三代相继并列在太阳系里。

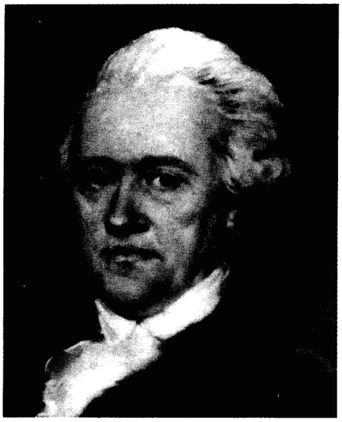


图 464 威廉·赫歇尔(1738—1822)

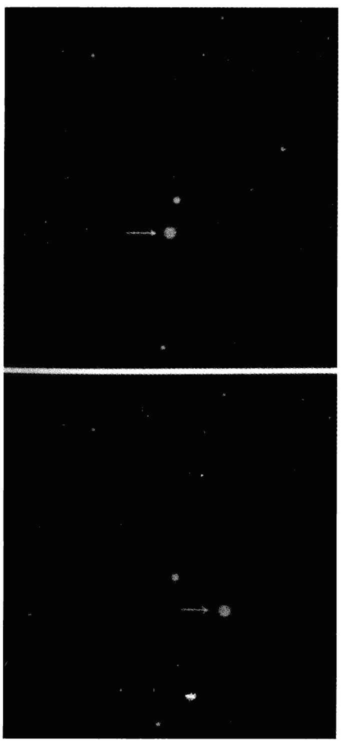


图 465 天王星在白羊座里一颗 7 等星附近逆行

1936 年 12 月 19 日和 30 日,弗拉马里翁天文台拍摄。

1781 年以后,威廉·赫歇尔便不再以乐师而以天文学家和大型望远镜的制造者扬名全球。维护科学的英王乔治三世召见了他,对于他讲解的简明、态度的谦逊非常高兴,既给以终身的俸禄,更在温莎堡附近斯劳地方赐以住宅。他的妹妹卡洛琳充当他的书记员,记录他的观测,还加以归纳计算。英王赐给她以助理天文学家的头衔和薪俸,这是恰当的恩惠,因为她曾发现了一颗以她的名字命名的彗星。

1789 年赫歇尔造成了另外一具巨型望远镜,口径 1.22 米,焦距 12 米,远远超过当时所用的一切望远镜(图 463)。1789 年 8 月 27 日这座大望远镜开始使用,第二天赫歇尔就发现土星的第六颗卫星,几星期以后又发现第七颗。斯劳天文台是世界上发现星星最多的一个地方。后面我们还要提到赫歇尔,他又是恒星天文学的创始人。

天王星需要 84 年才围绕太阳运行一周。1865 年和 1949 两年它再回到它在轨道上被人发现的那一点。事实上我们对于这颗星的观测已经在三整周以上,原来在赫歇尔认识它是行星以前,已经有几位天文学家把它当做恒星观测过了,可惜他们既没有好仪器也没有足够的智慧,因而把这颗行星放过去了。最早的观测是在 1690 年,约翰·佛兰蒂德在星表中将它编为金牛座 34,并且至少观测了 6 次。自 1750 年至 1769 年勒莫尼埃(Lemonnier)曾经在他的望远镜里观测过天王星达 12 次之多,可是他终于让它逃掉了!但是这位粗心急躁的天文工作者却喜欢多费时间去批评别人的工作,而少花工夫去整理自己的观测。没有好奇心和想象力的观测者,真不知错过多少机会啊!

在肉眼里天王星像一颗 5.7 等的恒星(图 465),只要有一幅好的星图便不难把它找到(图 466)。它经过黄道星座亮星很少的区域时,没有很早地引起观测者的注意,是一件可诧异的事。在望远镜发明以前,天王星被人发现已经是可

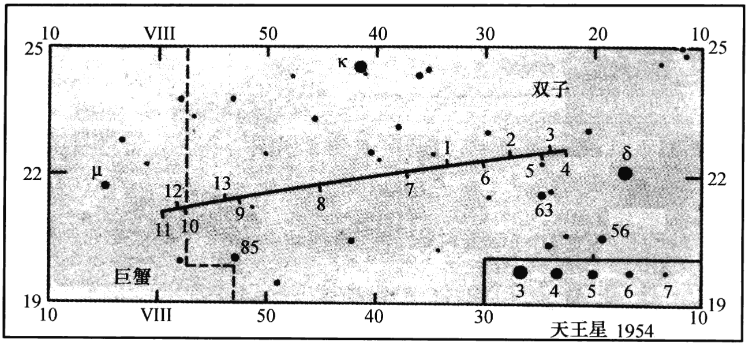



图 466 1954 年天王星的行踪
取自《弗拉马利翁天文年鉴》。

能的事。

天王星距离太阳大约是土星距离的二倍，即达 28.75 亿千米。因为偏心率是 0.046，近日点距离是 27.42 亿千米，远日点距离是 30.08 亿千米，天王星在 1799 年、1883 年和 1967 年过近日点，下次将在 2051 年回到那一点。

我们现在知道天王星有五颗卫星，以离它的距离由近而远为次序叙述如下(图 467)：

天卫Ⅴ是最近的也是最后发现的一颗，它是在 1948 年被柯伊伯在一张照片上找到的。它的星等是 19，周期是 34 时，距离天王星的中心有五个赤道半径那样远，即 13.5 万千米。天卫Ⅴ的直径不超过 200 千米。

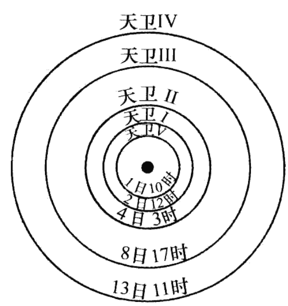



图 467 天王星卫星的轨道

天卫Ⅰ和天卫Ⅱ是 1851 年被拉塞尔(Lassell)所发现的。它们的星等分别为 15 与 16，很难被人看见。天卫Ⅰ在 7.4 赤道半径或者 19 万千米处以 2 日 12 时 29 分的周期环绕天王星运行，它的直径只有 900 千米。至于天卫Ⅱ，距离是 10.2 赤道半径或 26 万千米，周期是 4 日 3 时 28 分，直径是 700 千米。

最后天卫Ⅲ、天卫Ⅳ是 1787 年威廉·赫歇尔发现的，星等是 14，因距天王星稍远，故比前两颗卫星还容易观测些。天卫Ⅲ在离天王星 17 个赤道半径或者 44 万千米处以 8 日 16 时 56 分的周期运行，它的直径估计是 1 700 千米。天卫Ⅳ在离 23 个半径或 59 万千米处运行，周期是 13 日 11 时 7 分，直径是 1 600 千米。

我们之所以违背我们的习惯，先讲卫星后谈天王星本身，那是因为这些卫星的运动有一种奇特的情况，这些情况影响天王星的自转，使它超出常规，成了太阳系里的特例。地

球和火星的卫星以及木星和土星的主要卫星均沿正向，即由西向东自转，而且卫星的自转面和行星的轨道面相交的角度很小，可是天王星外面的四颗卫星（天卫Ⅰ的轨道根数还不确定）运动的方向都是逆行的，自转面差不多和天王星的轨道面正交。假使从前按正向在天王星的轨道面上转动，要把它们弄到现在的位置上来，就必须把它们所在的平面转过98°！当地球经过这平面的时候（1923 年、1965 年等），这些卫星的运动就像在天王星的两旁摆动一般（图 468）。反之，在别的时候，它们的视轨道差不多是圆形的，有时（1946）它们按顺时针方向转，有时（1985）它们接逆时针方向转。

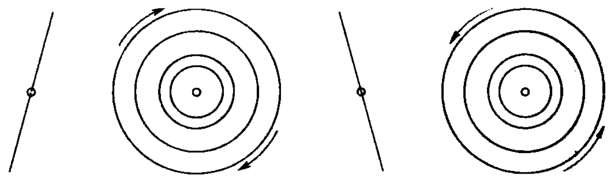



图 468　在恒星周期各时期里天王星卫星的视运动

天王星在地球上测量只有 3″.8（极端值是 3″.4 和 4″.2），实际的直径是 5.1 万千米，约相当于地球直径的 4 倍。以地球为单位表示，天王星的体积是 64，质量是 15。天王星的密度比地球的密度小得多，约为水的密度的 1.2 倍。天王星球体的扁率已经被赫歇尔求得，约为 1/14，在木星和土星的扁率之间。天王星的自转轴差不多躺在它的轨道平面上，实际上它们之间的交角只有 8°，这自转轴差不多和卫星的轨道平面正交。因此我们说天王星的自转和卫星的运动一样，是逆行的。1902 年借摄谱仪证明了这个看法。1912 年斯里弗、1930 年穆尔（Moore）和门泽耳用分光法求得天王星赤道区自转周期约为 10 时 45 分。

我们不夸张地说，天王星是一个颠倒了的世界。在这颗行星的天空里太阳可以交替的挨近两极只相差 8°。我们可以猜想在这种情形下大气流动的情况，当一极差不多垂直地接受日光的时候，另一极却落在漫长的黑夜里（1946 年、1985 年）。在这时期里天王星可见的一极，在我们眼里看来差不多在圆轮中心。只有在天王星的二分期（1923 年、1965 年），我们才能观测它的赤道区和它的扁球形的形状。天王星表面类似于木、土两星，表面上的带纹在这些情况下被拉塞尔、杨格、亨利兄弟、蒂斯朗（Tisserand）、佩罗廷（Perrotin）等发觉，并于 1924 年被安东尼亚迪用默东天文台的大望远镜加以证实。这些环带很难观察到，因为天王星的圆轮很小，太阳照在它上面的光辉极端微弱，因距离遥远，在天王星上看太阳的直径只有 1′40″。

天王星的反照率和土星相近(0.5),它的圆轮边沿处很昏暗,无疑是被密而多云的大气所包围。这大气的吸收光谱里有甲烷的特征光带,比土星同类的光带还浓(图469),反之氨的光带却很弱。在红和红外的分界处有一光带,有人认为它是氢的分子($H_2$)所形成的,还有一带是由一个氢原子和一个重氢原子所组成的HD分子所形成的。也许是凝结成雪的甲烷造成了云,于是天王星才有它大的反照率与赤道带纹。这一切都使人相信天王星的内部结构和木星与土星的内部结构相似。

从天王星那里看恒星宇宙,和在地球上所看到的没有两样,可是从那里看太阳却和这里所看的大不相同。在天王星上,水星和金星都看不见了,最遗憾的是地球也沉浸在日光里,因为地球和太阳的距离不会超过3°!木星和土星都成了晨昏天幕上的小星,只有海王星才是一颗暗淡的、可以在半夜升到天空中的行星。所以对于这个很近的、也可算是很远的行星,地球和我们都算是不存在的了,对于宇宙里的其他世界来说,我们更是乌有了!

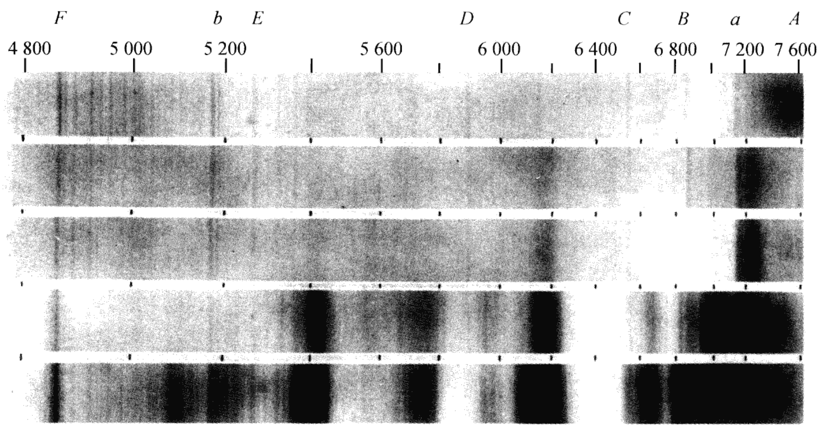



图469 自上而下:月亮、木星、土星、天王星、海王星的光谱




图 470　海王星的发现
1847 年 1 月 1 日,《巴黎报》上的漫画。

# 第三十四章

# 太阳系的边界

## 海　王　星

有人说,天文学是测验人们智慧的学问,单凭计算发现了海王星这件事就证明这句话是正确的。这颗行星在距离我们 40 亿千米以外,是肉眼所绝对看不见的,可是它影响了天王星的运动。于是数学家说:这影响的原因,是由于天王星轨道以外的另外一颗行星,它造成了我们所观测到的效果,由效果来推求原因,这颗行星必定会在天空中的某一点。于是人们把望远镜指向这一点,去寻找这一颗未知的行星,还不到 1 小时,果然把它找着了。

假使行星只受太阳的作用，它们就围绕太阳按椭圆轨道运行，如像我们在第十五章里所研究过的那样，可是所有的行星彼此互相吸引，而且还反转去吸引太阳，于是这些错综复杂的引力便产生了所谓摄动。天文学家计算行星方位表的时候，就是将摄动的效果计算进去的，这些表不但是观测者的指南，也是检验理论是否正确的一种方法。

法国经度局曾委托布瓦尔(Bouvard)计算当时已知的木、土、天王三大行星的星历表。布瓦尔证明对于木、土两星，从表中得出的理论位置和那时的观测完全相合，可是对于天王星观测和理论之间就有不能解释的差错。这是在天王星发现后 40 年，即 1821 年间的事。事实上布瓦尔手里已有 131 年的观测资料，因为我们在前一章里说过，在天王星发现以前，自 1690 年至 1781 年它已经被人观测过二十多次。他对于这些位置都计算了天王星所受到的摄动，主要是土星的引力，他从观测里修正了这些摄动的影响，于是表示在一个开普勒的椭圆上去，可是他完全失败了。远期的观测和近期的观测竟落在两个不同的椭圆周上！布瓦尔急于刊布他的表，放弃了 1781 年以前所作的观测，只将近期的观测尽量地修正完善，他说："让将来的研究去调和这两个系统，究竟是因为远期观测缺乏正确性呢，还是由于另外一种未知的外力加在这个行星之上呢?"这问题的答案不久便揭晓了。到了 1830 年布瓦尔的表又与观测结果发生不合，差错已达 20″，而且愈来愈大，至 1845 年便超过了 2′！这样看来，至少在表面上，天王星的运动似乎表明天体力学和摄动理论是不可靠了。一些学者从这样不相合的情况下，便怀疑到万有引力的正确性，另外一些学者以为这是由于天王星轨道外的另外一颗行星的吸引，使天王星受了它的摄动，而木星和土星却没有受到它的影响。

大多数天文学家赞成第二种假说，寻找这个引起摄动的天体，就成了当时亟待解决的问题，但这却是一个非常困难的问题，没有人敢着手去做，只有一位年方 23 岁的名叫亚当斯(John Couch Adams)的剑桥大学的学生，勇敢地担任起这个工作。经过两年的思考和计算以后，1845 年他说明天王星运行上的误差确实是由于另外一颗行星的摄动所引起的，而且他算出这个摄动体的轨道和质量。他把他的结果通知了英国的几位天文学家，但是他们都没有注意。

亚当斯的姓名和工作在法国完全没有人知道，同年(1845)的夏天阿拉戈请求勒威耶去寻找这颗假想的行星。那时勒威耶在技术学校当天文学助教，也是新生力量，因曾做过关于太阳系的重要研究，所以有担任这个工作的基础。不久他发现布瓦尔的表上有几个误差，但将这些误差校正以后，观测与理论还是不能符合，这种修正后的误差表示在图 471 上。于是勒威耶便产生了下面这一系列的问题："天王星的行差是不是由于在黄道上运

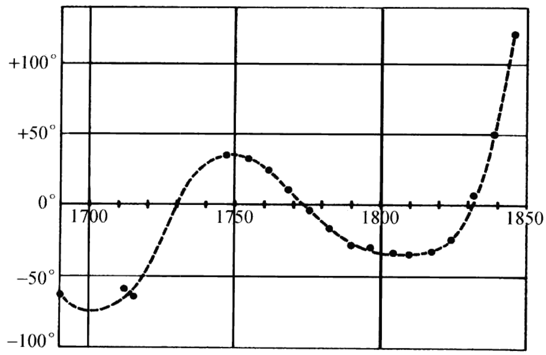



图 471 天王星的黄经度的偏差
勒威耶 1845 年绘。

行、且比天王星远两倍的一颗行星的作用呢？如果是的话，这颗星究竟在哪里？它的质量多大？它的轨道根数怎样？”不久他把这些问题的答案总结在两个报告里，刊布于 1846 年 6 月 1 日和 8 月 31 日。1846 年 1 月 1 日，他说那颗行星的黄经度是 325°，它的相貌和恒星绝不相同，它的视直径不小于 3″。

那年 9 月 18 日勒威耶在一封寄给柏林天文学家加耳(Galle)的信中，先感谢加耳给他的论文，然后把这颗行星的坐标告诉了他。这封信在 9 月 23 日到达加耳手中。那夜加耳把他的望远镜瞄准宝瓶座内勒威耶所指的那一点，加耳记下经过他的视场里的星星，同时他的助手达雷斯特(d'Arrest)注意前几天才出版的布尔米克星图。加耳所看见的星有一颗不在星图上面，这正是那颗行星！第二天这颗星移动了，9 月 25 日加耳便大胆地和他的巴黎朋友通信说：“先生，你给我们指出位置的行星是真实存在的。”



图 472 找不着勒威耶的行星
多米耶的石印画。

这个发现产生了很大的影响，自 1/4 世纪以来人们以为失败了的天体力学取得这样一个伟大的胜利，给人们一种深刻的印象(图 470、472)。阿拉戈建议把这颗新行星叫做勒威耶，但是以神话命名行星的传统又一次胜利，这颗星终于叫做**海王星**。

海王星发现的消息在英国引起各种反应。亚当斯的未发表的论文才宣布出来，人们才觉察这两位科学竞赛者的成绩是一样的，而且都是每人各自独立求得的。假使剑桥的查理士(Challis)不是那样松懈地进行他的工作，假使他在 1846 年的 7 月

间每天整理出他的工作而不总是把它堆集起来，英国人一定会首先发现这颗行星，因为事后证明查理士已经把海王星记录下来，只是没有想到去把它推算出来。英国天文学家看重亚当斯的功绩，请求不要把这个姓名忘记不是没有理由的，阿拉戈对此报以激烈的言辞，这场激烈的笔战经过了好几年。

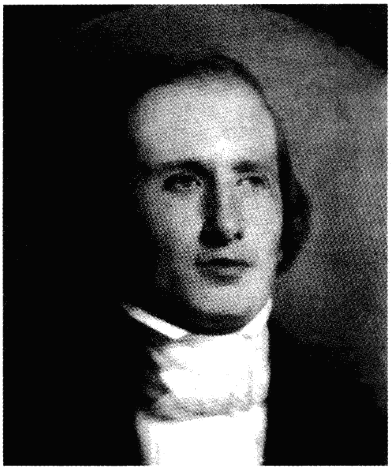


图 473　勒威耶(1811—1877)

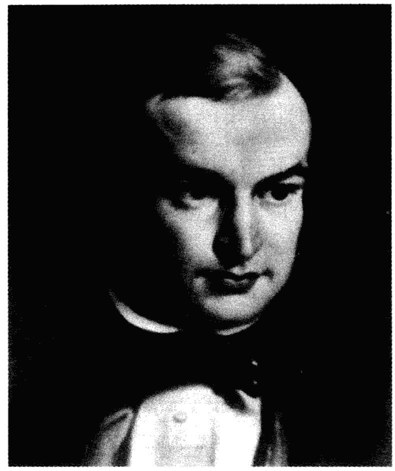


图 474　亚当斯(1819—1892)

勒威耶把这颗未知的行星和太阳间的平均距离定为 35～38 个天文单位，公转周期定为 207～233 年。但是由初期观测所定出的结果却不相同，那时定出的距离是 30，周期是 164 年。1846 年 10 月拉塞尔发现海王星的一颗卫星，这样便可推算这颗行星的质量，勒威耶估计它是地球的质量的 32 倍，亚当斯估计是 45 倍，实际推算的结果只有 17 倍！这样大的差异使人惊奇。嫉妒的人甚至说加耳所发现的行星和勒威耶的计算没有关系，这发现只是偶合而已。如果读者考察一下图 475，就会了解为什么有这种似非而是的结果。亚当斯和勒威耶所推算的假设的轨道差不多是相同的，就这两个

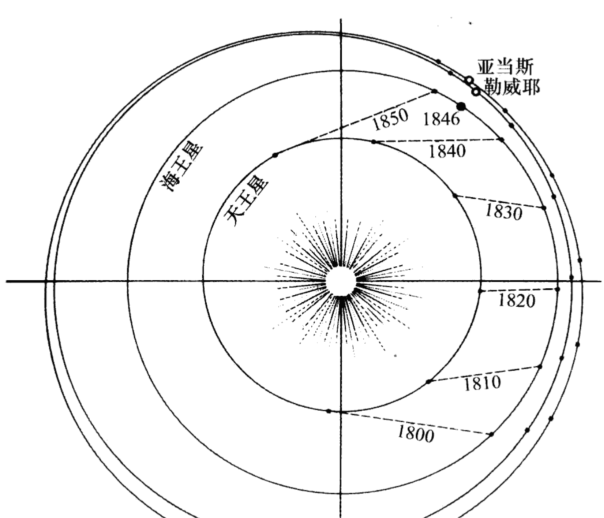



图 475　海王星的轨道和勒威耶与亚当斯所预推的轨道的比较

轨道的全部来说，实在和海王星的真轨道有显著的差异。但是在近日点附近，这两个假设的轨道差不多和真实的轨道相接触了，所以在 1840 年至 1850 年间这颗假设的行星的位置和海王星的真实位置是很接近，只是这些假设的轨道和天王星的轨道相距太远一点，这就是为什么亚当斯和勒威耶都把质量算大了那么多的原因。在小型望远镜里，海王星像一颗 8 等星，所以要证认它，必须有一幅详细的星图(图 476)，或者必须有很好的星历表与具有定位度盘的望远镜。著名天文学家拉朗德的侄儿于 1795 年 5 月 8 日和 10 日，在陆军大学的象限仪(还保存在巴黎天文台，见图 477)里，把它当做一颗恒星记录下来。他曾经觉察这两次记下的位置是有一点差异的，但是他以为是测量上的误差，便把第一次的观测取消，只刊布了第二次的观测，且在那后面加上一个问号。假使他再做第三次观测，去校核前两次观测为什么不相符合，他就会在勒威耶以前半个世纪发现海王星。这又是一个错过了的机会！

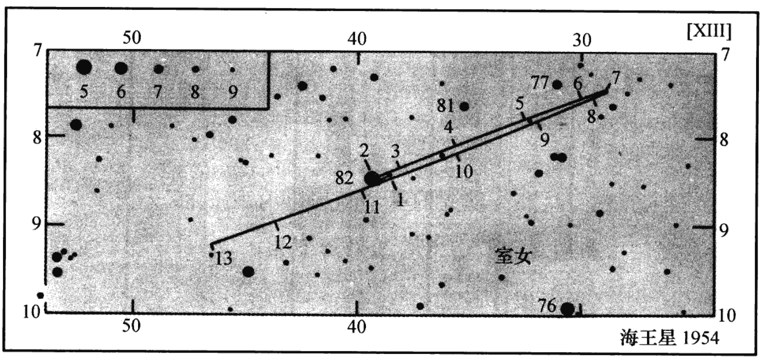



图 476　1954 年海王星的行踪
取自《弗拉马里翁天文年鉴》。

一具至少能放大 300 倍的望远镜才能够看见海王星的淡绿色圆轮，这圆轮的直径还不及 4″。它的赤道直径约 4.5 万千米，等于地球直径的 3.5 倍。因此海王星的体积是地球体积的 45 倍，又因它的质量只有地球质量的 17 倍，所以它的密度相当小，只有水的 2.1 倍。海王星表面的重力大约同地球上的重力相等。我们在大型望远镜里也很难看见海王星表面的情况。从日中峰的优等望远镜里，望见它是一个淡蓝色的圆轮，边沿很昏暗，扁率不大显著。1948 年以来，人们在那上面看见一些明暗模糊的斑痕，它们的形状是不规则的，也许是变化的，因此还不能够决定它绕轴自转的周期。1928 年穆尔和门泽耳在里克天文台所作的光谱观测证明其自转是顺行的，周期比 16 小时还短一些。

海王星的反照率和天王星的反照率相同，约为0.5。有一云层环绕这颗行星，可能是由于甲烷的凝聚。因为海王星的光谱内表现很浓的吸收光带(图469)，可见这些云所漫射的光线在大气里经过很长的路程，这现象表示云层很低。除了甲烷也许还有氢、氮、氦和氨。海王星的温度只能很低，那里所看见的太阳直径只有1′，每单位面积所受的热量只有地面所接收的1/900。经人估计温度为－200℃，射电观测求得为－173℃。

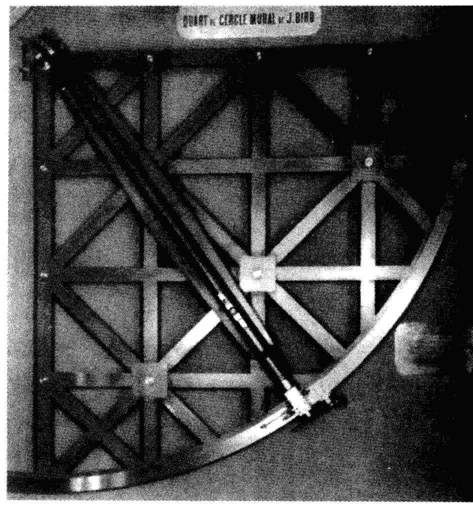


**图477　拉朗德的象限仪**
巴黎天文台博物馆藏。

海王星有两颗卫星(图478)。海卫Ⅰ是1846年10月10日拉塞尔所发现的。它距本星的中心比月地间的距离稍短一些。它是一颗很小的14等星。它的轨道和海王星的轨角相交成40°角，运动是逆行的。海卫Ⅰ的直径可能是月亮的两倍，因此它是最大的一颗卫星。海王星大气里的氨完全凝冻，只观测到氢与甲烷的分子，也可能有氮。

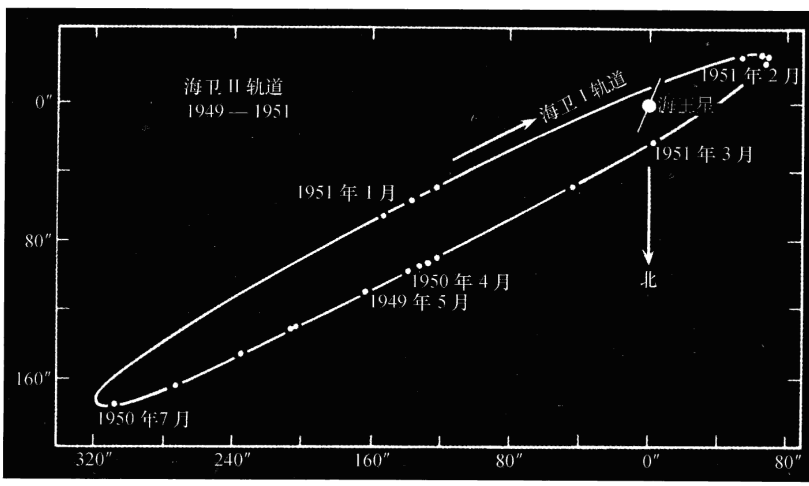



**图478　海王星的卫星(柯伊伯绘)**

海卫Ⅱ是1949年柯伊伯所发现的，它的星等大约是19，它的直径估计只有300千米。它比海卫Ⅰ距离海王星远得多，它的轨道偏心率很大，运动是顺行的。海卫Ⅰ的公转周期

是5日21时，海卫Ⅱ的公转周期大约是1年。在海王星的卫星系里，里面一颗是逆行的，和木星与土星的卫星系的情况相反。

这里结束了木、土、天王、海王一群大行星的研究。人们对海王星的认识并不很清楚，它好像和别的三颗大行星颇有不同。我们已经说过，它和太阳的距离不适合波得的定律，刚才我们又谈了它的卫星的特点。如果行星世界真有一个共同的起源，我们应当说它们并不是像兄弟般的相似。

## ◀冥 王 星▶

1879年出版的这本书里弗拉马里翁说了下列一段话，在今天已经成了先知所说的预言："海王星虽然是我们现今所知道的最外边的一颗行星，我们没有权力断定它以外就没有别的行星。

你以为一切都已经发现了吗?
那真是绝顶的荒谬；
这无异把有限的天边
当做了世界的尽头。

"我们甚至可以希望不久就能发现一颗新行星，只要相当长时期地观测海王星，就能把它的轨道确切地算出来，使得它外面的行星所施的摄动能被人觉察。可是这颗行星，一方面它的亮度应该是不及12等，另一方面它的运行当是异常的迟缓。"

有好几位天文学家想学勒威耶寻觅天王星外的行星那样，用计算去寻觅海王星外的行星。洛威尔想利用除了天王星所受海王星摄动的作用以外还剩余的差数，去决定海王星外的行星的位置，皮克林却想从海王星自身上的差数去找办法。由于皮克林的请求，1919年(洛威尔已于1916年死去)在威尔逊山天文台用照相法去寻找。海王星以外的行星已经被拍在四张照片上，像一颗15等的星点，但是没有人把它识别出来。幸而这工作在洛威尔天文台坚持进行下去，结果终于发现了这颗待觅的行星，时间是在1930年3月13日。发现人是汤博(Tombaugh)，他在那年1月间所拍的三张照片上(图479)把这颗星找着了。这颗新行星名叫冥王星，不必说它的轨道根数和洛威尔所预测的大有差异，正如海王星的轨道根数和勒威耶与亚当斯所预测的大有差异那样，于是又发生了和1846年间同样的争辩。

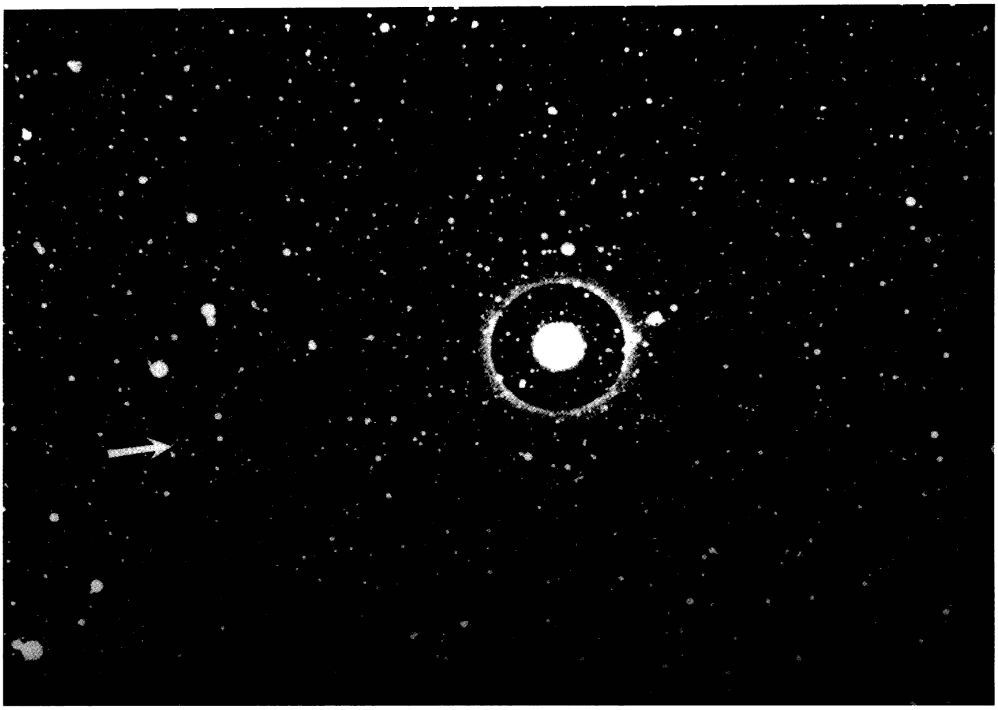


**图 479　1930 年 1 月 23 日洛威尔天文台的汤博在这张照片上发现了冥王星**
双子 δ 星周围的光晕是因为光线在照片后面反射而成的。

这颗新行星距离太阳实际上比一般所假定的还要近些，它的轨道的长轴半径是日地间的距离的 39.6 倍或者 57.66 亿千米。它的轨道的偏心率很大（0.246），这可由图 203 看出。在近日点处冥王星距离太阳 29.9 天文单位，在远日点处它距离太阳只有 49.3 天文单位或者 75 亿千米。它的轨道平面和黄道相交成 17°的角。

从冥王星对于天王星和海王星的摄动所算出来的冥王星质量，好像是和地球的质量相近，例如假设为 1。柯伊伯利用帕洛马山的 5 米口径的望远镜测得冥王星的直径还不及地球直径的一半，体积相当于地球体积的 1/10。怎样去调和这样矛盾的体积和质量呢？如果承认这些结果，冥王星的密度便该是地球密度的 10 倍或者是水的 50 倍！这是黄金或者白金密度的 2.5 倍！虽然白矮星的密度比这个还大得多，但是这里所谈的是一颗行星，它的组成物质和别的行星的物质基本上应该没有多大的差别。

另外一方面，如果我们假设冥王星和地球的密度相同，仍然承认体积是地球的 1/10，于是它的质量便只有地球质量的 1/10，那么这样轻的一个物体就不会显著地扰乱天王星和海王星的运动，也绝不能根据摄动的理论寻觅出它来。所以我们处于矛盾中，只有凭新

的观测才能解决,而冥王星的物理性质还可能为我们表现出一些奇迹。

至此,我们结束了这次行星际的旅行,可是我们却不敢说已经到了太阳系的边界,有些彗星的轨道远远地延伸到更辽远的空间,在那里太阳也成了像我们所看见的恒星那样。我们在下一篇就要叙述具有奇特面貌的过路客人:彗星。

# 第五篇 彗星、流星与陨星



图480 莫尔豪斯彗星（1908年11月16日沃尔夫拍摄）




**图 481　威廉大帝时的彗星**
即 1066 年的哈雷彗星，根据巴约彩绣毡挂毯。

## 第三十五章

# 历史上的彗星

在一切天象当中，彗星的出现无疑是最引人注目的。因为它们稀罕、奇特和神秘，即使是最不经心的人也会感觉诧异。我们每天看见的事物和经常发生的现象，成了"司空见惯"的事，不能引起我们的注意和好奇心。达朗贝尔(D'Alembert)说："科学家看见石头坠地感到惊奇，一般人笑他为什么惊奇，其实一般人对于日常事物如此地不用思想，才真令人惊奇。"真的，要是一位科学家对日常发生的现象去研究其中的缘由，他常常要问"为什么"和"怎么样"。最重要的现象反而不被人察觉，习惯磨灭了印象，终于使我们愚昧而没有感觉。更奇怪的是不常见的现象反而造成我们的恐惧，而绝不造成我们的欢乐和希望。在任何国家任何时代里，一颗彗星奇特的面貌和它灰白色光辉的尾巴忽然出现在天空时，总会在人们精神上造成一种恐怖的印象，以为已经建立的秩序受到了威胁。又因为这种

现象是暂时的，人们总以为这是灾祸临头的征兆。世上的事变之中总有一两件会被人附合上，说这征兆终于印证在这些事实上了。

彗星法文是 Comète，它是由希腊字 κομητηζαστηε 而来，意思是"发星"。据柏拉图和亚里士多德的学生泰奥弗拉斯托斯（Theophrastos）说，发星这个名词是从古埃及人那里来的。

除了个别例外，古代天文学家都把彗星当做是气象现象或者转瞬消逝的天象。有些人以为是地气上升至火界而燃烧，另外一些人说这是伟人的灵魂上升天界，让我们可怜的下界众生受灾祸的蹂躏。罗马人真相信公元前 44 年恺撒死时出现的大彗星的确是那位独裁者的灵魂〔罗马的名作家奥维德在他的《变形记》里贡献给奥古斯都大帝的最后一段说："维纳斯（金星）从苍天飞下，站在议院的人群中，但没有人看得见她。她从恺撒的身体内解放了灵魂，为了避免灵魂飞散，她把它带上星界。在上升的时候，这位女神感觉她所携带的灵魂变为一种神灵的质素焚烧起来。她让它从怀中逃走，灵魂上升得比月亮还高，变成一颗明星，在广大的空间里拖着一束火焰式的头发。"〕。17 世纪赫维留和开普勒还以为彗星是地球和行星所发射出来的精气。在这样的见解之下，自然就不会有人去从事彗星运动的测定工作了。由于第谷、牛顿和哈雷特别是近代天文学家的努力，彗星的运动才被列入行星运动的理论里面去。

乍看起来，天体运动的庄严性和均一性，好像被奇异的过路客人、长发披天的怪物所搅扰了。古代的作家常把彗星描写成各种各样可怕的形象，如刀、枪、剑、戟，甚至是砍下毛发茸茸的脑袋所流出的鲜血，发出红、黄或灰色的光辉。历史学家约瑟夫就曾这样描绘过公元 66 年，即耶路撒冷城被毁前 4 年时所出现的彗星的形状。事实上这是一次哈雷彗星的出现。

拉丁历史学家苏埃托尼乌斯（Suétone）否认尼禄（Néron）所犯的暴行是彗星的影响，尼禄宠幸的占星家巴比吕斯（Babilus）〔自尼禄至美第奇家族的凯瑟琳，大多数国王和王子都养有各人的占星家。这些占星人的生活不常是舒适的：罗马皇帝提比略常把他的占星家抛到特布尔河或卡普雷（Caprée）山脚下的海里去。这些占星家想设法避免刑罚是很困难的。路易十一的占星家曾预言皇帝宠幸的某一贵妇人将死亡。这妇人真的凑巧死了，皇帝命他的御前教官把这占星人叫进宫来，并且命令侍卫听到信号，就将这位占星人捉住，放进袋内，抛入塞恩河中。皇帝看见他的时候问他道："你这位能干的先知，既然能够知道别人的命运，那么立刻告诉我，你还会活上几天？"他毫不惊恐地回答道："陛下，天星告诉我该比陛下早三天死亡。"皇帝听了这个回答，就没有发出信号，而且特别注意这位占星家的健康〕以为某一次彗星的出现预兆克劳狄王朝的灭亡。希腊历史学家卡修斯（Dion Cassius）的书中曾经有这样一段记载："在罗马皇帝韦斯巴芗（Vespasianus）驾崩以前有几个预兆：一颗彗星久现不散，奥古斯都大帝的陵墓崩裂。"御医们以为皇帝一定染了重病，可是看见皇帝仍然是

无恙地在料理政事。他对医生们说道："你们的皇帝应该站立着死去。"他又看见宫人们在低声谈论彗星，他含笑说道："这颗长发星和我没有关系，它是在威胁雅典的国王，因为他有头发，我是秃子。"比希尼亚国王因在被屠的动物的肚内所得的预兆不佳，就拒绝作战，汉尼拔大将取笑他说道："那么，你宁肯相信羊肝的意见，而怀疑老将的意见吗？"每个时代都有它的成见，我们这个时代也不免有同样的笑话。

希腊人也有这样的迷信：公元前 372 年出现的一颗彗星，亚里士多德曾经描绘它有长 60°的尾巴；根据西西里的史学家狄奥多罗斯(Diodore)的看法，它预兆斯巴达人的衰颓；根据埃福罗斯(Ephore)的看法，它预兆阿沙依省的赫里斯和布拉城将被海摧毁。普卢塔克(Plutarque)叙述公元前 343 年的彗星，按照科林斯的提莫莱昂将军的意思，那是他打败西西里人的成功预兆。史学家索佐门(Sozomène)和苏格拉底(Socrate)也说到公元 400 年出现的一颗刀形的彗星，照耀在君士坦丁堡上，那时正是加伊那背信弃义、大祸降临的前夕。

中世纪里，人们更是变本加厉，扩大了古代人疯狂的意念，把有些彗星形容得怪诞无比〔有人看见过一颗彗星，形状像一对月亮；在查理曼大帝死时(814)一颗彗星像一个没头的人。历史学家尼塞塔斯描绘 1182 年的彗星，有下面一段奇特的叙述："自从罗马人被逐出君士坦丁堡以后，天空即现出愤怒和罪恶的预兆。一颗彗星出现，它形似蜿蜒的蛇，时而伸，时而屈，时而张开血盆大口，人们以为它想喝人血，快要下来捉人去吃呢。"〕。帕拉切尔苏斯(Paracelse)医生却以为彗星是被天使派来警告人们的。葡萄牙王阿方索六世听说 1664 年出现彗星，匆忙跑到月台上去，百般地诅咒，且抽出手枪向彗星射击，可是彗星仍然庄严地在它轨道上运行。

下面我们要谈到历史上的一颗最著名的周期彗星，名叫哈雷彗星，是为纪念首先预言它回来的一位天文学家而命名的。这颗彗星自公元前 467 年它出现时，历史上已有记载，到今天已经经过近日点 32 次。公元前 391 年和前 315 年的两次回来，没有历史的记载〔关于哈雷彗星在中国历史上的记载，据朱文鑫考证(见《天文考古录》)，自秦始皇七年(前 240)至清末宣统二年(1910)计有 29 次，与计算的结果比较，均相符合。——译者注〕。在法国历史上最早一次有记载的是在 837 年，正值柔懦的路易一世在位的时候。当时一位绰号天文学家的人曾经有这样一段记载："在复活节的圣日里，一个时常是灾祸的预兆现象出现了。皇帝平常很留心这类现象，看见了那颗星，一下子便失去了安宁。他对我说'这是预兆皇朝易人和王子升天'。他召集大主教们并听取他们的意见，有人告诉他应该多祈祷上苍，建造礼拜堂和修道院。他依照这些劝告去做了，可是三年以后他还是死了。"

1066 年 4 月正当威廉胜利入侵英国的时候，哈雷彗星出现了。历史学家都这样写道：

“诺尔曼人被一颗彗星领导着入侵英国。”威廉的妻子马蒂尔达把这颗彗星和她的臣民惊讶的情况，织在有名的巴约城的挂毯上面(图 481)，今天还被保存在博物馆里。英国国王在他们的冠冕上绣有彗星尾巴的花纹，据说是纪念黑斯廷斯战役失败的耻辱。

哈雷彗星最有名的一次出现在 1456 年，正是土耳其人占据君士坦丁堡 3 年以后。欧洲人处在下列可怕的消息所造成的惊恐里，传说圣苏菲教堂已经改为清真寺，所有的基督教徒都被绞死或者遭受奴役，大家正在为拯救基督教而担心。1456 年 5 月 27 日彗星出现了，据当时历史学家说，那颗彗星既大而又可怕，尾巴之长掩盖了黄道的两宫，换句话说即是 60°，它金光灿烂，具有摇荡的、火焰似的姿态。人们存那里看出天神的怒气，它的出现增加了战争的恐怖。这时教皇加里斯都(Calixte)三世命令一切信奉基督教的王子群力共御回教人的侵略，并叫信徒们虔诚地祈祷，在许多诏命里其中有一条规定正午鸣钟时人们必须重作晚祷礼拜。在 1318 年约翰二十二世已规定晚祷。1456 年又有午祷。到了 1472 年路易十一便把这两次礼拜固定成为习俗。

哈雷彗星也和别的彗星一样，对人们的精神有一种威胁、惊骇的势力。火剑、血十字、燃烧的匕首、长枪、飞龙、血口这一类充满恐怖的形容词，在中世纪和文艺复兴时代是很流行的。像 1577 年出现的彗星，因为它形状奇特，好像很配这一类的称号。最严肃的作家也未能避免使用这一类恐怖的词句。有名的外科医生帕雷(Ambroise Paré)在他的《天空怪物》书中的一章里，描写了 1528 年的彗星，极富恐怖的色彩，“这颗彗星是异常可怕的，在群众中造成极大的恐怖，有吓死的，有吓了得病的。它的尾巴异常之长，颜色红得像血一般，在这颗彗星的头上我们看出一只屈曲的臂，手里持着一柄长剑，好像要往下砍。在剑端有三颗星。在这颗彗星的光芒两旁有许多带着鲜血的刀、斧、剑、矛，其中还混杂许多可憎恶的、须发耸立的人头”(图 482)。



图 482　1528 年的彗星(根据《天空怪物》一书中的图画)

作为这颗有名的彗星这一类的描写，我们特别把作者的附图转载在这里(图 482)。同时还有人在 1520 年的天空中看到天上的军队(图 483)。

由此可以明白想象力拥有特别的眼睛，可以看出特殊的情况。1528 年和 1577 年有几位有名的人士以为世界的末日到了，他们竟把他们的财产捐献给修道院。



图 483　16 世纪的人们以为在天空看到了这样的情况

可是在那个时期里占星术的看法也开始受到攻击。伽桑狄在路易十四开始的年代说道："是的，彗星诚然可怕，但显然是由于我们的愚昧无知。它是我们为自己造成的恐怖对象，我们感觉真实的灾祸不够多，还制造一些想象的灾祸。"

在这一世纪以前伊拉斯谟(Erasme)说过："但愿战争的原因只是君王们被彗星所激起的愤怒。请一位高明的医生给他们几剂大黄消消怒火，再为我们带来和平的欢乐！"

1681 年 1 月 2 日塞维尼侯爵(Séign)夫人给比西(Bussy)公爵的信中有这样一段话：

"我们这里看见一颗很大的彗星，尾巴是再漂亮没有了。所有的大人都吓倒了，他们以为老天在料理他们的后事，特别拿这颗彗星来通告他们。据说马萨林大主教已经染了不治之症，他的侍臣们为了阿谀这位大人物，故意对他说天上出现一颗大彗星，很使他们害怕。他还有精力转而去讥笑他们，他说这颗彗星太看得起他了。事实上我们也该像他那样说，人们的骄傲竟到了这样的地步，以为个人的死亡也会影响到天上的星象呢！"

可是路易十四宫廷里那些大人物却没有马萨林那样聪明。且看 1680 年《牛眼记事》里有这样一段记载："所有的望远镜都对准天空，一颗近来还从没有看见过的大彗星，使我们科学院的学者们日夜操心。城里的人很害怕，胆怯的人以为又是一次洪水的预兆，他们说因为水的预兆总是在火。我想这是合理的解释，只需卡西尼先生为我证明就成了。胆小的人看见世界的末日快到了，赶忙写下他们的遗嘱，把他们的财产送给僧侣，在宫廷里大家热烈地讨论着这颗飘荡的星究竟预兆哪位大人的死亡。他们说罗马的独裁者死亡以前，不是有一颗彗星出现过吗？昨天有几位大胆的人讥诮这种意见。路易十四的弟弟怕一下变成了恺撒，冷冷地叫道：'唉，先生们你们可以坦然地瞎讲，原来你们这些人不是王族呀！'"〔1680 年的彗星给一切人以深刻的印象：天主教徒、基督教徒、土耳其人、犹太人都害怕。它甚至使母鸡也害怕！弗拉马里翁在巴黎国立图书馆找着那时所雕的一块木刻像，上面写着："大怪事，罗马的一

只母鸡生了一只蛋，上面刻有彗星的像。"这张图上绘有这样的一只鸡蛋，并且下面有一句话说明这事实是"经教皇和瑞典女王证明无讹的"〕

科学家伯努利也未能避免偏见，他说这颗彗星的头部虽然不是上帝愤怒的表现，尾部却该是那样的。惠斯顿（Whiston）把这颗彗星当做是洪水的预兆，他说这是根据数学计算而得知的。事实上他的出发点就很玄虚而不可靠。

这位和牛顿同时代的神学家兼天文学家于 1696 年写了一本叫《地球的理论》的书，他在那里借彗星的作用解释地质的演变和《创世记》里的事迹。他的理论不但完全虚构而且也和任何彗星无关，可是当哈雷算出这颗 1680 年有名的彗星轨道是椭圆的，周期是 575 年〔恩克重新计算，求得这颗彗星的周期该是 8 800 年〕的时候，惠斯顿便根据这个周期，考证这颗彗星在古代出现时的历史事迹，找着历史学家认为这彗星曾在洪水时期出现过，于是这位神学家兼天文学家便不再迟疑，肯定他的理论，并且把这颗彗星断定是过去用水、将来用火来消灭人类的灾星。

他说："人犯了罪的时候，便有一颗小彗星在地球的附近斜斜地经过，给地球以一种自转的运动。上帝预知人要犯罪，而且恶贯满盈的时候，应该给予一种严厉的惩罚。所以他在创造天地的时候，就预备了一颗彗星来做他复仇的工具。这彗星便是 1680 年的那颗彗星。"这场灾祸是怎样造成的呢？

他又说："或者在 2349 年 11 月 28 日星期五那天，或者在 2926 年 12 月 2 日，彗星穿过地球轨道，距离地球只有 3614 里〔里(lieue)是指法国的古里，约等于现在的 4 444 米，本章所说的里都是法国古里。——译者注〕。彗星合日的现象发生在北京正午的时候，那里好像是洪水以前诺亚居住过的地方。现在这次相遇的效果是怎样的呢？一种巨大的潮汐不但发生在海水上面，亦且发生在地壳下面。亚美尼亚山脉和戈尔迪安山因为在合日的时候距离彗星最近，受了动摇，便崩裂开了，'深渊里的源泉涌了出来'。灾祸还不只是这些。彗星的大气和尾巴接触到地球和其上的大气，便成了倾盆大雨，一直下了整整 40 天，这样'便把天河里的水都倾尽'了。"根据惠斯顿所说，洪水淹没地面深达 1 万米。

这颗彗星从前把人类淹死，下一次来的时候又会怎样用火来烧死我们呢？惠斯顿一点也不觉困难地解释说：彗星从后面拖住地球，改变它的轨道。于是"地球更靠近太阳，受到极大的热力，使它燃烧起来。这以后天上的神灵统治地球 1 000 年，地球经过火的改造之后，由于神的意志，又可以居住了。可是最后一颗彗星再来碰撞地球，它的轨道变得异常椭长，地球本身也成了彗星，便不会再有人类了"。

这样看来彗星的作怪真是不小啊！

18世纪时一般人对于天文的现象还是很无知的，迷信的胡说只要有人说了，特别是刊印发表出来了，就会被人传说开来。1736年不是有人说太阳逆行了吗？1768年不是又有人说土星和它的光环与卫星都失踪了吗？大家都相信，报纸也传播了这种奇怪的消息，有知识的人对于这些传说虽然怀疑，但也随声附和。这以后几年在巴黎传遍一个空前恐怖的消息，使政府不得不下令干涉。同时梅西叶〔在1760年至1801年间梅西叶发现了16颗彗星。他对于寻找彗星这个工作的热心，表现在这一件事上。另外一位姓蒙塔尼的天文学家发现一颗彗星，适逢梅西叶的妻子死了，他回答他朋友的吊唁说道："我已经发现了11个，就让这蒙塔尼去发现第12个吧！"他随即明白这位朋友和他谈的不是彗星，而是他的妻子，他说："啊！是的，这是一位很善良的女人哪。"他又继续去悼念他的彗星了。这位有名的彗星发现者于1808年刊印了他于1769年所发现的彗星，书名是《拿破仑诞生时出现的大彗星》〕在他的望远镜里发现了不少彗星，才使人明白这种稀罕的灾星原是屡见不鲜的现象。

那时法国的一位著名天文学家拉朗德才写了一本书，名叫《彗星的研究》。他说他只谈了某些情形下可以接近地球的彗星，可是有人就以为他预言了一颗异常的彗星，会造成世界的末日。这恐怖的消息由上流社会传播到一般人民，大家都承认这颗灾星已在它的轨道上运行，就要来把我们的地球毁掉。这种普遍的惊慌愈闹愈大，使得皇帝诏令拉朗德再作一篇文章，把他的意思向民众解释明白。他费了很大的力才使胆怯的人安心，重新去完成他们已经放弃了的计划。

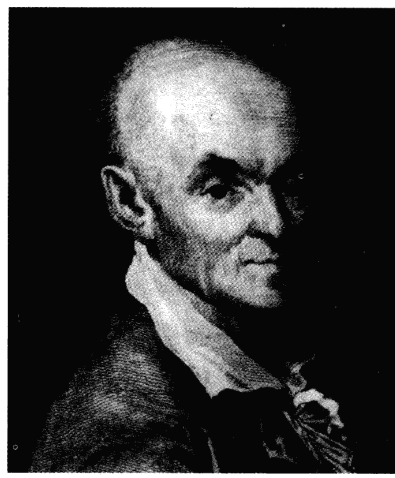


图484　拉朗德

像这样的例子到今天还是容易找到的。对于彗星的恐怖是一个周期性的病症，只要有一颗彗星出现并被人叫得响亮，这个病就会复发的。1910年哈雷彗星归来的时候，有些报纸故意夸大它的恐怖性，特别是它的尾巴扫过地球的期间，有些住在偏僻乡村的人感到异常惊慌，报纸上说在中欧和东欧甚至有人因此自杀。

19世纪的时期，有一次彗星出现，人们的恐怖好像是合乎科学的，这是1832年比拉彗星归来的故事。达木瓦佐(Damoiseau)计算这颗彗星归来的情况，求得它应该在1832年10月29日半夜以前穿过地球的轨道平面，而且就在彗星最容易撞着地球的地方，彗星穿过平面的这一点是在地球轨道之内，距离地球只有它的半径的$4\frac{2}{3}$倍。因为彗星头部的

半径有 $5\frac{1}{3}$ 个半径那样长，所以 1832 年 10 月 29 日半夜以前，地球轨道的一部分必定被彗星所占据。

这些结果既由科学界的权威所论断，又经过报纸的宣传，在人们中所产生的影响之大是可想而知的。完了！末日到了！地球快被彗星碰撞、破碎、拆毁、消灭了！那时大家都这样讲，最坚强的人也动摇了。

但是有一个问题应该提出的，当时报纸上却没有提到。1832 年 10 月 29 日半夜以前，彗星穿过地球轨道平面的某一点时，地球究竟在它巨大的轨道平面上哪一点呢？计算一下很快就解决了这个问题。阿拉戈在 1832 年《经度局年册》里写了这样一段话："10 月 29 日夜半以前，彗星将经过地球轨道上的某一点，可是，地球要在 11 月 30 日早上，即在1个月以后才到达这相同的一点。我们应记住地球在轨道上的平均速度是每日 67.4 万里。只需要很简单地计算一下，便知道彗星穿过地球轨道的时候，距地球有 2 000 万里之远。"



图 485　1811 年彗星的影响(此图是根据当时杂志上的插图)

彗星具有很大的坏影响，如暴风和火山爆发等，但它对于植物特别是葡萄却有好的作用，因此有"彗星酒"这个美名。

事情如预言那样，地球终于平安无恙地运行着。

查理五世时的彗星被一位骗子宣布说，将于 1857 年 6 月 13 日回来。那一天彗星要和地球相撞，演成世界的末日。外省的人沉浸在恐怖里，巴黎人也不断担心地谈论着那颗彗星。

又有人谈到根据日内瓦的普朗达木的主张，1872 年 8 月 12 日地球将被彗星撞毁。大家都害怕，可是照常地生活，大祸临头那一天仍是安然度过。

下面我们将不从传说的观点去谈世界的末日，只从科学的见解去研究彗星和地球碰撞会产生怎样的

后果。

1 800 多年以前罗马哲学家塞内克(Sénèque)对于这个问题比他的许多后代的人更先进。他说“彗星按照自然所规定的路径有规律地运行”,并且预言说,他后代的人,会对他们时代里那些不能认识很明显的真理的愚蠢人感到惊诧。

观天的人习惯了星球运动的规律性和天穹面貌的沉静与稳定性,一旦看见在天空某一区域里有一颗形状反常、拖着光亮的长尾、忽来忽去的天体,自然不能不引起他们的惊讶、恐怖。这种恐怖产生于惊讶和愚昧,是不足怪的,因为一切难以解释的事,我们容易把它当做是奇怪灾祸。

为了消除这种奇怪的看法,我们应该寻找彗星运动的规律,1680 年大彗星出现的时候牛顿便这样做了。根据万有引力定律,他查出彗星的运动应在一条很长的曲线上,他和他的朋友与合作者哈雷企图用数学来表示这颗新彗星的行动,后来完全获得成功。哈雷对于这个工作作了很大的努力,认出 1682 年的彗星绕日的运动和 1531 年与 1607 年所观测过的两颗彗星极其相似,他断定这三颗彗星,本是同一颗彗星的三次出现,因此它应当在 1758 年再来。

哈雷很艰辛地计算了行星对于这颗彗星的作用,这作用影响了它下次回来的日期,他预言它下次回来当在 1758 年底或 1759 年初。要确切算出回来的日期,须使用完善的数学公式。克来罗权威地完成了这个问题的代数部分,可是要根据公式做数字的计算,还是一个艰巨的工作。于是拉朗德和勒波特夫人担负了这项计算的任务。这两位计算者将数字代入公式经过整整 6 个月的推算。克来罗完成了计算,求得各大行星推迟这颗彗星回来的时间,土星是 100 天,木星是 518 天,总共 618 天,那就是说它的实际周期比上面所说的周期要长 1 年 8 个月,于是它过近日点当在 1759 年 4 月中,可能迟早 1 个月。



图 486　**哈雷**

在欧洲大陆上科学的预测没有比这

一次更引起人们的好奇心了。这颗彗星果然再回来了，而且它在预定的星座之间经过！它于1759年3月12日过近日点比预测的日期恰好提早1个月。拉朗德说："我们都看见了它，彗星像行星那样环绕太阳运行是没有丝毫可怀疑的了。"〔1759年拉朗德又这样写道："今年宇宙里发生一件最令人满意的现象，是天文学从来没有向我们表现过的。这是空前的胜利，它把我们的猜测变成了真实，使我们的假设得到证明。虽然聪明的物理学家一向就希望彗星如期归来，虽然牛顿加以证明，哈雷确定了时间，请求后代人类为他作见证，可是他的情况和我们是两样的，他的幸运的猜测和我们亲眼看见的快乐，自然也是两样的！综合历史的事迹得出结论，这是哈雷最大的成就。在50多年以后看见他的结论得到完全的证实，这快乐是我们的享受，也是自古以来的哲学家所羡慕的。克来罗先生为了维护理论，要求彗星的归期有1个月的迟早。彗星恰好差1个月出现，比前次迟了186日，比预定期早了32日，但是在150年间人们只观测了它的轨道的1/200，其余的部分我们完全没有看见，这32日之差算得了什么呢？"〕哈雷彗星按天文学家的预测回来了，这实在给彗星天文学开辟了一个新纪元。

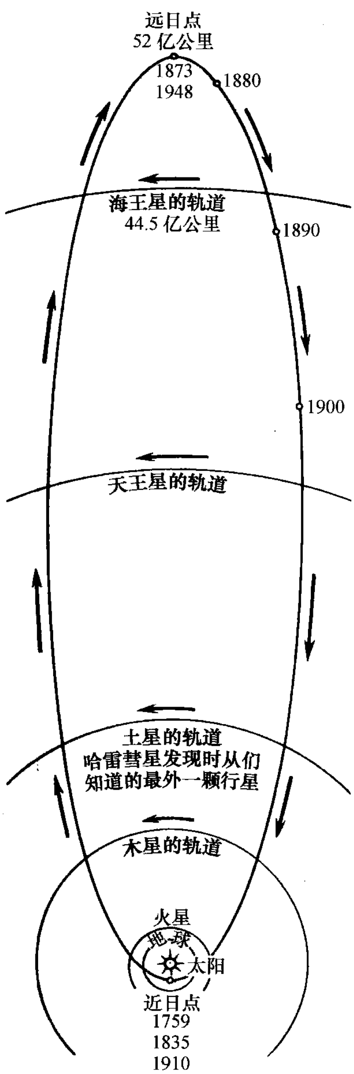



图487　哈雷彗星的轨道

这预测实在值得称赞。如果你想象土星的轨道便是太阳系的边界，而这颗彗星能够运行得那样远（图487）又会重新归来，这不能不算是一种大胆的设想。

至于1835年哈雷彗星的归来，罗森伯惹(Rosenberger)预言它过近日点期在11月11日，达木瓦佐预测在11月4日，蓬特库朗(Pontécoulant)预测在11月13日。事实上哈雷彗星于11月16日过近日点，比蓬特库朗所预测的只迟了3天。哈雷彗星的轨道现在已完全测定。自1759年至1835年它走了一周。它继续两次过近日点，中间所经历的日数，自1682年至1759年是27937日，自1759年至1835年是28006日，因木星的作用推迟了135日，因土星、天王星和地球的作用推进了66日，总共推迟了69日。

1910年哈雷彗星又转来一次。考维尔(Cowell)

和克朗林(Crommelin)计算它于4月17日过近日点,但实际是在4月20日,也迟了3天。其准确度并不比1835年蓬特库朗所预测的高。沃尔夫在1909年9月11日所拍的照片上,就在它被预测的位置上首先发现了这颗彗星。在它逐渐接近太阳和地球的期间,显得比1835年更美丽。弗拉马里翁在他的天文台里在大气良好的情况下观测了几个月。3月9日至4月中它落在太阳光辉里不能看见。当它再出现的时候,真是好看极了。5月10日彗核光明达2等,早上就可以看见,5月17日长达100°。第二天,即18日,彗核经过日轮,一点痕迹也看不见,只是在晚间彗星表现出一条正背着太阳的尾巴。5月19日、20日和21日很长的彗尾又在黎明前出现。彗星曾达空前的长度,至140°,表现出显著的曲率,地球很可能是从它的尾部穿过去了。

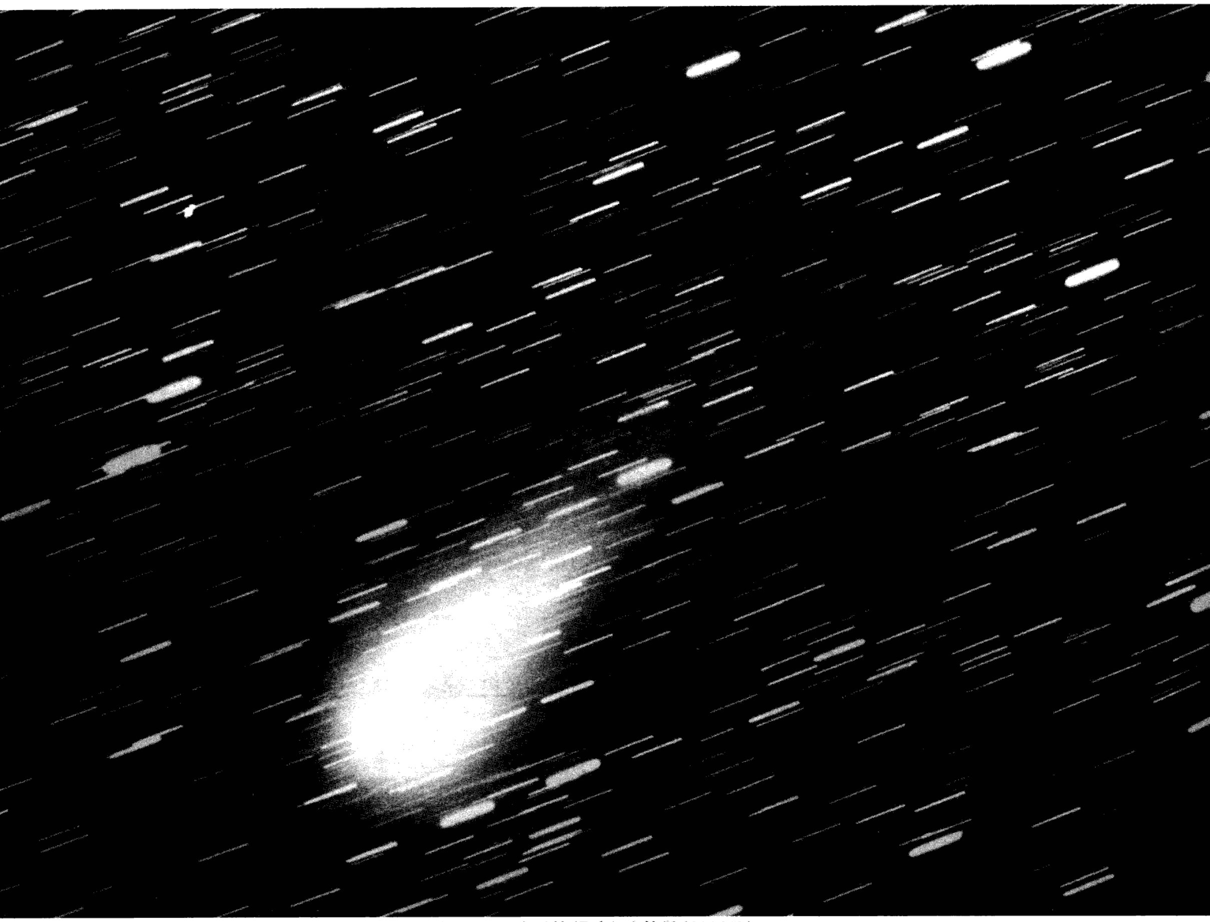


图488　珀耳帖(Peltier)彗星(1936Ⅱ)

1936年7月25—26日自23时32分至0时34分,有一条细长的直线光从彗头出来,彗头大而弥散,略偏向中心的右方。



**图 489 德拉旺 (Delavan) 彗星 (1914 V)**

1914 年 9 月 24 日自 2 时 8 分至 4 时 6 分，这颗彗星放出两个不同类型的彗尾：长尾成流浪式的纤维结构，另一尾较大而短，很散漫。

## 第三十六章

# 彗星在空间的运动

我们刚才说过，彗星在空间的运行，根据数学的分析，有些像行星那样围绕太阳运动，但所走的轨道十分椭长。凡是距离相当近而可以用肉眼或者望远镜看见的，只限于它绕太阳运行的一段轨道，以后它就走到很远，甚至到无限远的空间里去了。

以明亮或者伟大的形态引起一般人注意的彗星是不多的。自 1801 年以至 1952 年，南、北两半球所看见的真正引人注意的大彗星只不过二十几个。光亮未达 1 等，肉眼可以看见的，并不过于稀罕，平均每两三年就出现一个。

我们将要叙述几颗著名的彗星。彗星的著名是由于它们在我们头脑里所造成的印

象，这样就需要以下几个条件：当它们在最美丽的时候，适逢天气晴朗，而且它们是在夜晚出现，使人们的目光能注视到它们神秘的面貌。黎明以前出现的彗星，就很少有人去欣赏它们了。

彗星和行星的区别有四大特征：云雾式的面貌和相当长的尾巴；椭长的轨道和这个轨道占据很长的空间；轨道和黄道的交角不像行星那样接近黄道而成各样角度，甚至达到90°，使彗星能经过两极区的星座；运动的方向不像行星那样一致，有些是顺行的，有些是逆行的，好像缺乏统一性。稍微大一点的彗星总有相当明亮的一点，周围环绕着雾气，而朝着一定的方向拖出一个光亮的尾巴。这明亮的一点叫做彗核；核后发光的尾巴叫做彗尾；围绕着彗核的雾气叫做彗发；彗核和彗发并在一起叫做彗头。

并不是所有彗星的结构都如上所述。还有具有几个尾的彗星；也有只有核与发而无尾的彗星，在彗星和太阳的距离相当远的情形下观测时，便是这样的；也有没有发而像行星那样的彗星，使得观测的人把它们误认为行星。1781 年发现的天王星，1801 年发现的小行星和谷神星，有一个时期都被人误认为彗星。还有只是一团雾气，核不显著的彗星。这种彗星即使存在，因其外形微小，常不能被人看见。

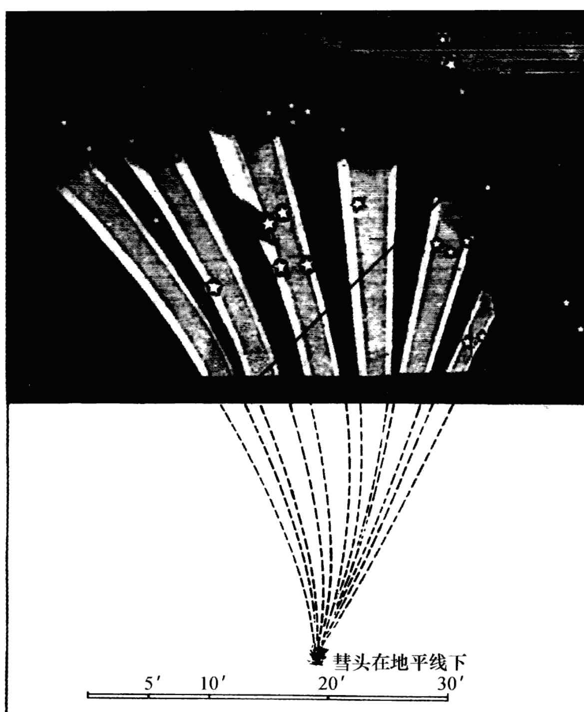



**图 490 1744 年的六尾彗星，根据歇索的原始素描图而绘制的**

1744 年 3 月 7—8 日和 8—9 日两日早上可以观测。图中黑线代表天赤道。当时的记录是这样写的：“我们在这图上标出主要的恒星，根据这些星定出彗尾的位置，为了使图画清晰，我们没有把字母标在星上。天文学家可以认出这些星座是海豚、小马、飞马、天鹰、摩羯星座的一部分与宝瓶的西部和银河的一角。观测的时间是早上 4 点。”

有些具有多尾的彗星，其尾可伸出达天空的 1/4、1/3 乃至一半那样长，例如 1680、1769、1843、1882、1910 年的彗星便是。1744 年出现的有名歇索六尾彗，有几个尾长达 30°至 40°，彗尾整整占了 44°的空间（图 490）！以上所说的都是特殊的情况，常见的情形，彗星可见的范围要小得多。

发光的尾巴的形状有时笔直或者稍微弯曲，有时像弓形那样弯曲。彗尾总是背着太阳的（图 491）。如果含彗尾的平面和视线所成的角度很小，人们所看见的彗星差不多是直线；如果这个角度大，人们看见它弯曲得更多，如像 1858 年多纳蒂（Donati）所发现的那颗彗星那样（图 503）。

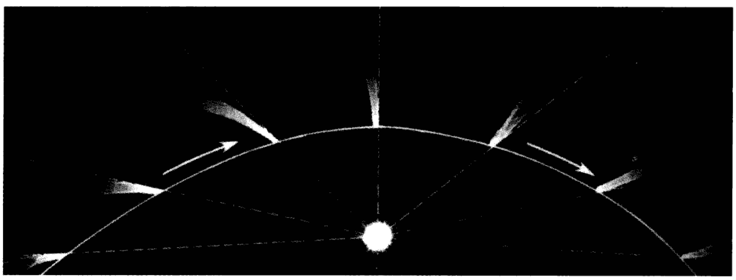


图 491　彗星在运行中，彗尾的位置常和太阳相背

彗星只能在短暂的时间内被人们观测到。起初，人们在看见它出现在天空中前几天还没有看见过它的某一个区域。再过一两天它重新出现，可是在恒星中间位置移动了许多。像这样，我们可以在天空中跟踪它几天、几月乃至一两年之久，光亮愈来愈暗，以至不能看见。有时因彗星靠近太阳，被日光掩蔽，不能被人看见，但是不久它从太阳的另外一边出来，就可以被人看到，再经过一些时期，才真的隐匿不见了。有少数彗星即使在中午太阳的近旁，也还可以看见，例如 1843、1882（在 9 月 17 日）、1927 年的（在 12 月 15 日）几颗彗星都是在白昼被人看见的，但这样的情形总是极其稀罕的（图 492）。

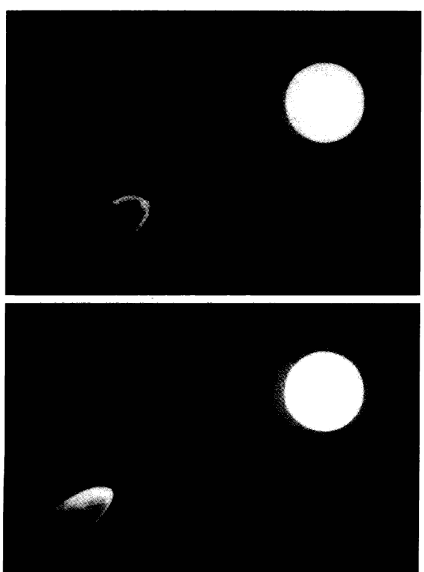


图 492　斯克慈勒（Skjellerup）彗星（1927 Ⅸ）
用肉眼观测的情况，距离太阳约 1.5°。上图：1927 年 12 月 15 日 8 时 35 分；下图：2 时 10 分。

天文学家研究彗星在天空的行动，常常把它的位置拿来和它附近已知位置的恒星比较。如果他在望远镜里作直接的观测，他便用测微器去度

量这些星和彗星之间的方位和距离。如果按一定条件拍照，他使用坐标仪在照片上去测量这些星的坐标。观测的目标不是彗头或彗星的任何一部，而是彗核里最亮的一区，那里是彗星集中的地方，也就是它里面的固体物质按开普勒定律描出的轨道之点。

如果我们使用小型望远镜去研究彗核，我们就可找出那里面比较明亮的一点，天文学家就是去测定它那里的星等。使用较大的望远镜，光亮就变弱一些。我们看出的不是一点，而是一团差不多是圆形的雾气，直径约有几弧秒，它叫做雾核；在这中间有时找出一个星点，那是真核，便是我们需要测量的点。事实上用默东天文台 83 厘米口径的大望远镜去观测这种星点核，倒是很难看见的，因为在观测超过彗星与地球的一般距离时，这星点是太小了。只有特殊彗星和地球相当接近的时候，才看得见。巴耳代(F. Baldet)还多次证明星点核并不常常恰在气体核的中心，有时离开核心几弧秒。所以使用分解力低的小型望远镜测量彗核，有时可以发生几弧秒的误差，这样就足够影响轨道的性质。以下还要谈到这一点的重要性。

一切大小行星都沿椭圆轨道运行，绝大多数彗星基本上走的是抛物线的路径。以前我们谈过椭圆的画法(图 44)。假设椭圆上的一个焦点 $F$ 和 $F$ 挨近的一个顶点 $A$(图 493)都不动，只将另外一个焦点 $F'$ 沿着长轴的延长线向右移动，我们便可绘出一系列的椭圆，一个包含一个，愈来愈长，向右愈伸愈远。假想这第二个焦点移到无穷远处去，于是我们的椭圆便只有一个焦点，两支张开不再闭合，就不是椭圆，而变成抛物线(图 493)了。

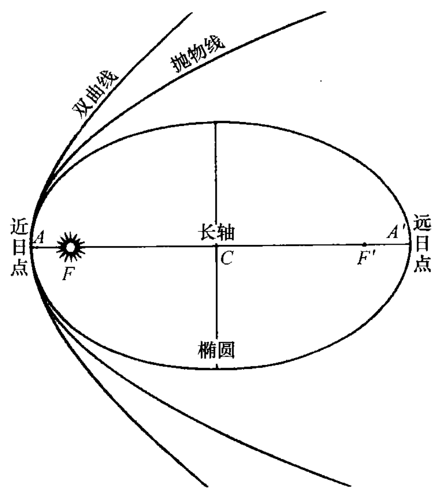



图 493　在太阳引力的影响下，天体可能运行的三种轨道

所以抛物线是只有一个焦点的曲线，它的两支无限地张开。沿抛物线轨道运行的彗星在其绕日的途径中只有一次经过轨道上的每一点，之后便飞向无限远去，不再回头。我们说过所谓椭圆的偏心率便是焦点和中心的距离 $CF$ 与长轴半径 $CA$ 之比。这数字常小于 1。对于圆来说，我们可以把它看做是两个焦点重在一起的椭圆，偏心率为零。水星轨道的偏心率是 0.206。小行星轨道的偏心率常要大些。哈雷彗星的偏心率是 0.967。抛物线的偏心率等于 1。彗星的轨道是比抛物线还要张开的曲线，名叫双曲线，它的偏心率大于 1。在具有近日距 $FA$ 相同的轨道中，只

有一条抛物线，而有无限多的椭圆和无限多的愈来愈张得开的双曲线。所以抛物线是彗星所能运行的一切轨道中的一种极限情形。当我们谈到抛物线轨道的时候，我们应该想到，在观测到的精确的界限内，我们也可用和它很接近的椭圆或者双曲线来代表的。

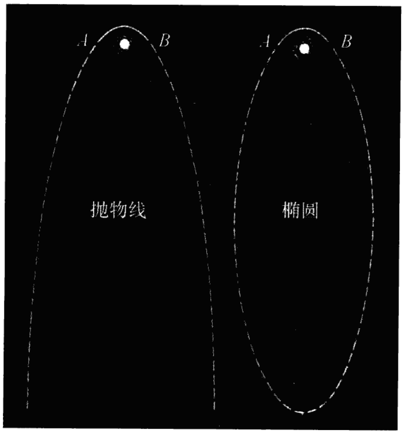



图 494 彗星所走的抛物线和椭圆的轨道，观测过的部分以 $A$ 至 $B$ 的实线表示，因距离远，人不能见的部分，以虚线表示。由图可见这两段弧 $AB$ 是很相似的

图 494 表示抛物线和椭圆的两个轨道。实线 $AB$ 的部分代表可见的区域，其余的虚线部分都是不可见的区域。我们看这两幅图上 $AB$ 部分是怎样的相似。我们所以要提出这些问题，在以后谈到彗星的起源的时候，便知它的重要性了。

星绕吸引它的焦点所作的曲线，随着它所具有的速度而有差异。所谓圆周速度便是星绕焦点做等速圆运动的速度。这速度愈增快，所走的轨道便愈椭长，运动也愈迅速。当圆周速度与 $\sqrt{2}$（= 1.414）相乘以后轨道便由椭圆成了抛物线。假使一颗星不具初速度从无限远沿抛物线轨道而来，那么它将仍然到无限远去。更快的速度就会使它走双曲线的轨道，这种情形下，在无限远或者说在离太阳很远处，初速度并不为零。

根据上面所说的道理，便得出以下的这些结论：不论在怎样大的椭圆轨道上运行的彗星，都是属于太阳系的；如果在大行星所造成的摄动的区域之外，彗星所走的轨道是双曲线的，它们便是从邻近的恒星来的，因具有过快的速度，它们可能是离开别的恒星而来的。

一颗彗星在望远镜里可以被人看见的时候，它的外貌很像天穹上的星云。只有把它拿来和固定的星云图比较，再研究它对于恒星的运动，才会认识出它具有彗星的性质。

假想有一个能够发出气体的核心，在空间里太阳引力所能达的极限和在离我们最近恒星的中间位置，这团物质受太阳的引力，于是向太阳而来。假使太阳周围没有行星，这颗新彗星继续增加速度，稳步地围绕中心的焦点沿抛物线轨道运行，它向太阳来时所获得的速度恰好把它沿着这条抛物线的另一支送到无限远去。但是因为有了行星，而且它们也在运动，彗星在它们附近经过，速度便发生改变。按情况的不同，它的速度因此可以减慢或者增快。这样它叫做**受了摄动**。如果一切行星所造成的加速度胜过减速度，彗星离开太阳系的时候，速度将大于抛物线速度，它将沿着双曲线的一支，永远离开太阳的势力范围，而进入另外一颗恒星的引力场中去。反之，如果阻挡的力量得胜，轨道就变成椭圆，

而且其椭长的情况随这减速的多寡而定。木星的摄动作用最大。假使我们把它对于某一团物质的引力假设为 1 000，那么在相同的距离处太阳系里别的行星的引力可以表示如下：

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 太阳 | 1 047 350 | 海王星 | 54 | 金星 | 2.6 |
| 木星 | 1 000 | 天王星 | 46 | 火星 | 0.34 |
| 土星 | 299 | 地　球 | 3.2 | 水星 | 0.17 |

如果行星有卫星，这些数值里我们已经把卫星的质量也计算进去了。

在此可见，主要的摄动力是由木、土两星而来的，除非在特殊的情况下，彗星很接近某一颗行星的时候才不是这样。如果一颗彗星很接近木星，这彗星的轨道可能受木星的影响，被改变成一个短周期的椭圆，这叫做捕获（图 495）。

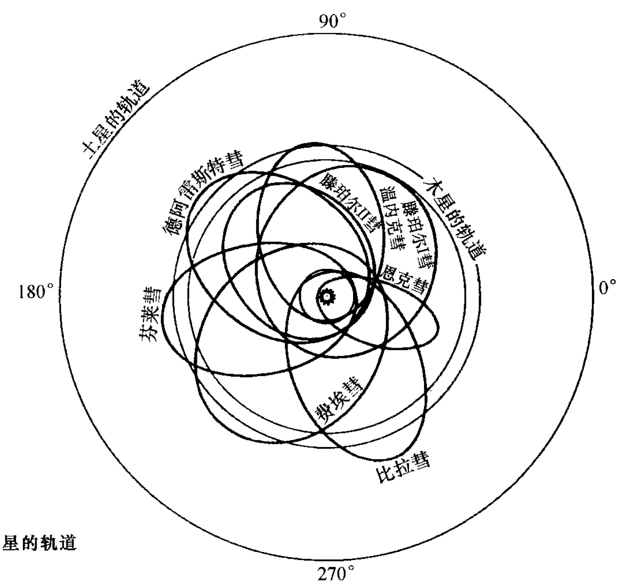



图 495　被木星捕获的几颗彗星的轨道

彗星从遥远的空间而来，在旅途中需行走几百万年，这种彗星不能预言其何时出现；至于公转周期很短的彗星也难精确地预测其出现的日期。

古代民族的史籍，给我们记载了一些大彗星出现的情况。有些记载相当明确，使我们不会怀疑他们所观测到的天体不是彗星。例如“天空现焚梁”便是指有尾的彗星而言，但是却不是经常这样的。有时新星出现的记载中词义非常含糊，不知其所指的究竟是什么天体。例如常见的“异星”两字，便不知道所指的对象是新星还是彗星或者流星。对于史籍记载的详细研究，有时可能考查出所观测物体的性质。关于古代彗星的记载最重要的一种资料，共有两大册，出版于 1783 年，作者是巴黎大学校长，皇家科学院院士兼大僧正

潘格雷，书名为《彗星志》。作者曾博览很多古史、年鉴与专著（几乎全部是拉丁文的），抄录下历代的天象记载，逐条用批判的态度并和专家讨论后加以鉴定。中国古史关于彗星的记载曾经由毕奥（Biot）编纂在三篇论文中，于 1846 年发表在《法国天文年历》里面，1871 年威廉士（Williams）在伦敦也发表同样的著作，题名为《公元前 611 年至 1640 年，从中国历史中摘出的彗星观测》。

这些文献大部分已经由比古当（Bigourdan）收集在 1927 年的《法国经度局年册》内。巴耳代又将那篇文章补充了新的资料，重印于 1950 年的年册中。至 1952 年底为止的《彗星志》，计有从公元前 2316 年开始的彗星共 1 650 个记载，其中有 44 颗彗星，回到近日点时经人观测过 222 次，所以总共记载有不同的彗星 1 428 颗。不过这只是实际观测过的彗星的一个大约数字，因为在古代的记录里有一些是可怀疑的。应该引起注意的是彗星出现的数目在古代很少，到了近代愈来愈多，这是因为近代天文台对于彗星作了系统的搜寻的缘故。现在的彗星发现数目，平均每年约有 6 颗，这里面包括预测其要回来的短周期彗星。每年的实际数字可以由 1 到 14，这些彗星当中，轨道经人确定的有 766 颗，因为刚才说过有些彗星再度回来，曾经被人观测过总共 222 次，经人算过轨道真正不同的彗星只有 544 颗。巴耳代于 1952 年汇集在他的《彗星轨道总表》里面，经巴黎天文台刊印出版。

据巴耳代的研究，他断定关于彗星的记载最好的（除极少数的例外）当推中国的记载，而且上溯到公元前 24 个世纪之久。上面所说的异星出现，常见于这些东亚地区的记载，虽然意义含糊难定，但详细记载了它们在星座间的移动，是很宝贵的资料。同时期里西方就没有这样详细的记录，只有一些模糊奇特的叙述，可是自 15 世纪开始情形就改变了。随着科学的发展，大家对于彗星兴趣迅速增加，达到近代观测的完善境界。

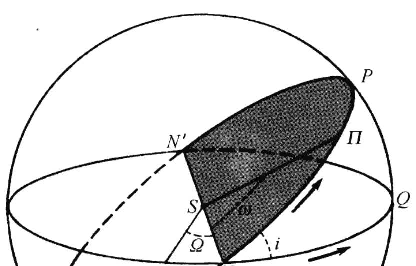



**图 496　彗星轨道平面的位置，是相对于天球上的黄道位置而言的**

$S$ 为天球的中心，$\gamma Q$ 为黄道在天球上的交线，$NP$ 为彗星的轨道平面在天球上的交线，$N$ 为这两个大圆的交点或升交点，$\gamma$ 为春分点，$\Pi$ 为由 $S$ 到近日点的方向和天球相交之点，$\Omega$ 为角 $\gamma SN$ 或升交点的黄经，$\omega$ 为角 $NS\Pi$ 或近日点的升交距角，$\pi$ 为 $\Omega+\omega$ 或 $\gamma N+N\Pi$ 或近日点黄经，$i$ 为交角。

后面是一张周期彗星表，已经观测过它们的回来，而且表中的轨道根数，便是按最近一次回来时的观测计算出来的。在看表以前，读者必须明了每一个根数和代表这些根数的符号的意义，这些数字是我们在研究上所需要的，因此值得了解它们（图 496）的意义。

为了确定任何时刻彗星的位置，我们应该先

明白它在空间里的行动，就是说该测定它所走的曲线的形态、它的大小和方位，总共需有下面 6 个数量：

第一个是偏心率 $e$。它决定轨道的形状。我们说过，它是两焦点间的距离和长轴之比。如果 $e$ 小于 1，轨道是椭圆的，$e$ 愈近于 1，轨道就愈是椭长；当 $e$ 等于 1，轨道就是抛物线；如果 $e$ 大于 1，轨道便是双曲线。

第二个是长轴 $AA'$ 的长度。实际上我们取半长轴 $a=CA$，在椭圆的情况下 $a$ 是正的；在双曲线的情况下 $a$ 是负的；在抛物线的情形，我们用近点距 $q=FA$ 取代 $a$，因为 $q$ 这个数完全决定了抛物线。

我们常用天文单位来表示 $a$ 和 $q$ 两个数量。读者想必还记得天文单位便是日地间的平均距离，约长 1.5 亿千米。有时需要了解远点距 $p=FA'$，这是等于长轴径 $2a$ 减去近点距 $q$。这段距离通常知道得不很准确，因为近于 1 的偏心率只需差一点就使长轴变化很大，于是便影响了远点距的计算。事实上只有对于已经观测过复归的彗星，它的椭圆轨道的大小才能确切地测定。

要决定代表轨道的曲线在空间里的位置，还需要另外三个根数。为说明起见，试将含彗星的轨道平面延展到天球上去，交线便是大圆 $p$，太阳 $S$ 占据它的中心(图 496)。这大圆和黄道平面 $Q$ 相交于作对径相反的两点 $N$ 和 $N'$。彗星由黄道南边到北边所经过的一个交点 $N$ 叫做升交点。符号 $\Omega$ 常代表角 $\gamma SN$，叫做升交点的黄经，在黄道平面上从春分点 $\gamma$ 量起。$\Pi$ 这一点是由 $S$ 至近日点的连线(即长轴)的延长线和天球相交的一点。$NS\Pi$ 为 $\omega$ 在彗星的轨道面上量度叫做近日点升交距角。还有 $\pi$ 表示近日点的经度等于 $\Omega+\omega$，是不在同一平面上的两个角之和。$i$ 表示彗星的轨道平面 $p$ 和黄道平面 $Q$ 的交角，可以是从 0°到 180°中间的任何数值。如果这个角超过 90°，运动的方向就会和行星运动的方向相反，叫做逆行。

还有第六个根数，它帮助我们决定彗星在轨道上的位置。这是彗星过近日点的时刻 $T$，表示为世界时，或者取某一历元的彗星的位置表示。从这些根数我们可以推出别的根数，例如环绕太阳运行的公转周期 $P$，表示为若干恒星年和平均周日运动 $\mu$，表示为若干弧秒或者弧度，即是假设彗星以等角速运动在 24 个小时(平时)内所走的角度。

抛物线的情形只需要五个根数，因为有一个根数，偏心率等于 1 是已经确定了的〔利用下列的简单公式，可以将一个根数改为另一个根数：$\log a=\frac{2}{3}\log P$，$\log(1-e)=\log q-\log a$，$\log P=3.5500066-\log\mu''$ 或 $P=\frac{3548''.18761}{\mu''}$ 或 $P=\frac{0°.985607669}{\mu°}$。以上的数值是经国际天文协会公认采用

的〕。

表Ⅰ是周期彗星(迄至1952年被人观测过再度回来的)的轨道根数,都是根据最近一次出现计算出来的。表内符号所代表的意义已如上述。$\omega$、$\Omega$和$i$三个角都以弧度和它的小数表示,而不表示为度、分、秒三种单位。公转周期以恒星年为单位,过近日点的时刻以日为单位。近点距$q$、远点距$p$均以天文单位表示。作为黄经度起点的春分点应确定其是某时期的春分点。最后两项是轨道计算者的姓名与发现人的姓名和发现时期。

**表Ⅰ 周期彗星(它们的回来已经被观测过)的轨道根数表号**

| 号数 | 名称 | | $P$ 周期 (年) | $T$ 过近日点时期 (世界时)(＊) | $q$ 近点距 (天文单位) | $p$ 远点距 (天文单位) | $e$ 偏心率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Encke(恩克彗)半确定(＊＊) | | 3.298 45 | 1951年3月16.209 7日 | 0.338 02 | 4.093 7 | 0.847 45 |
| 2 | Grigg-Skjellerup | 预推 | 4.904 55 | 1952年3月11.123日 | 0.855 62 | 4.917 8 | 0.703 60 |
| 3 | Tempel[2] | 预推 | 5.304 98 | 1951年10月25.323日 | 1.143 40 | 4.940 1 | 0.542 62 |
| 4 | Neujmin[2] | 确定 | 5.429 60 | 1927年1月16.233 6日 | 1.338 17 | 4.840 2 | 0.566 82 |
| 5 | Brorsen | | 5.463 03 | 1879年3月31.034 8日 | 0.589 84 | 5.613 9 | 0.809 84 |
| 6 | Tuttle-Giacobini-Kresak | | 5.493 21 | 1951年5月9.373 4日 | 1.116 60 | 5.110 0 | 0.641 34 |
| 7 | Tempel-L. Swift | 预推 | 5.680 66 | 1908年10月1.375 9(1)日 | 1.153 16 | 5.214 2 | 0.637 79 |
| 8 | De Vico-E. Swift | 确定 | 5.855 10 | 1894年10月12.701 0日 | 1.391 75 | 5.105 4 | 0.571 58 |
| 9 | Tempel[1] | | 5.982 24 | 1879年5月7.617 7日 | 1.771 11 | 4.819 7 | 0.462 55 |
| 10 | Pons-Winnecke | 预推 | 6.124 75 | 1951年9月9.118 1日 | 1.159 08 | 5.536 0 | 0.653 75 |
| 11 | Kopff | 预推 | 6.179 49 | 1951年10月20.4242(2)日 | 1.49491 | 5.2400 | 0.556 07 |
| 12 | Forbes | 预推 | 6.421 32 | 1948年9月16.117 6日 | 1.545 19 | 5.3644 | 0.552 74 |
| 13 | Perrine[1] | | 6.454 31 | 1909年11月1.328日 | 1.172 74 | 5.7604 | 0.661 70 |
| 14 | Wolf[2]-Harrington[5] | | 6.51042 | 1952年2月6.692 3日 | 1.599 25 | 5.3740 | 0.541 32 |
| 15 | Schwassmann-Wachmann[2] | 预推 | 6.515 44 | 1942年2月13.760 8日 | 2.143 81 | 4.833 0 | 0.385 45 |
| 16 | Giacobini-Zinner | | 6.587 99 | 1946年9月18.487 1日 | 0.995 65 | 6.032 9 | 0.716 68 |
| 17 | Biéla(彗核1)(比拉彗) | | 6.620 79 | 1852年9月24.227 4日 | 0.86060 | 6.191 3 | 0.755 92 |
| — | ——(彗核2) | | 6.618 71 | 1852年9月23.556 7日 | 0.860 62 | 6.189 8 | 0.755 87 |
| 18 | D'Arrest | 预推 | 6.699 29 | 1950年6月6.594 6(3)日 | 1.377 87 | 5.729 6 | 0.612 28 |
| 19 | Daniel | 预推 | 6.662 83 | 1950年8月24.310 5(4)日 | 1.464 96 | 5.616 7 | 0.586 27 |
| 20 | Finlay | 预推 | 6.844 4 | 1926年8月7.2(6)日 | 1.058 07 | 6.151 7 | 0.706 49 |
| 21 | Holmes | | 6.857 33 | 1906年3月14.612 6日 | 2.122 08 | 5.096 7 | 0.412 07 |
| 22 | Borrelly[1] | 预推 | 6.874 83 | 1932年8月27.815 6日 | 1.385 46 | 5.845 7 | 0.616 81 |
| 23 | Brooks[2] | | 6.960 66 | 1946年8月25.970(7)日 | 1.879 48 | 5.411 3 | 0.484 44 |
| 24 | Faye | | 7.440 79 | 1947年9月28.400 1日 | 1.663 27 | 5.9594 | 0.563 60 |
| 25 | Whipple | 预推 | 7.473 38 | 1941年1月22.69(8)日 | 2.484 84 | 5.160 2 | 0.349 95 |
| 26 | Reinmuth[1] | 预推 | 7.687 03 | 1950年7月23.744(9)日 | 2.037 30 | 5.752 7 | 0.47694 |
| 27 | Oterma | | 7.916 7 | 1950年7月15.652 2日 | 3.405 51 | 4.538 8 | 0.142 66 |
| 28 | Schaumasse | | 8.171 64 | 1952年2月10.651 2(10)日 | 1.194 23 | 6.919 8 | 0.705 64 |
| 29 | Wolf[1] | 预推 | 8.416 41 | 1950年10月23.629(11)日 | 2.497 55 | 5.777 7 | 0.396 38 |
| 30 | Comas Sola | 预推 | 8.553 77 | 1952年9月10.697 9日 | 1.766 36 | 6.598 7 | 0.577 68 |

续表

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | Väisälä | 预推 | 10.525 | 1949 年 11 月 10.457(12)日 | 1.752 05 | 7.853 0 | 0.635 18 |
| 32 | Neujmin[3] | 预推 | 10.950 | 1951 年 5 月 28.372(13)日 | 2.031 6 | 7.830 4 | 0.587 99 |
| 33 | Gale | | 10.992 14 | 1938 年 6 月 18.473 3 日 | 1.182 89 | 8.704 6 | 0.760 73 |
| 34 | Tuttle | 预推 | 13.606 0 | 1939 年 11 月 10.08(14)日 | 1.022 25 | 10.374 | 0.820 63 |
| 35 | Schwassmann-Wachmann[1] | 确定 | 16.159 1 | 1941 年 6 月 9.423 7 日 | 5.522 84 | 7.254 2 | 0.135 51 |
| 36 | Neujmin[1] | | 17.931 75 | 1948 年 12 月 15.794 2 日 | 1.547 30 | 12.155 | 0.774 15 |
| 37 | Crommelin | | 27.912 7 | 1928 年 11 月 4.951 8 日 | 0.744 81 | 17.659 | 0.919 06 |
| 38 | Coggia-Stephan | | 38.960 8 | 1942 年 12 月 19.196 7 日 | 1.595 86 | 21.389 | 0.861 14 |
| 39 | Westphal | | 61.730 3 | 1913 年 11 月 26.7694 日 | 1.254 14 | 29.985 | 0.91971 |
| 40 | Brorsen-Metcalf | | 69.060 4 | 1919 年 10 月 17.381 6 日 | 0.484 92 | 33.180 | 0.971 19 |
| 41 | Pons-Brooks | | 71.563 0 | 1884 年 1 月 26.217 4 日 | 0.775 73 | 33.698 | 0.955 00 |
| 42 | Olbers | 确定 | 72.405 | 1887 年 10 月 8.976 1 日 | 1.199 11 | 33.545 | 0.930 97 |
| 43 | Halley(哈雷彗) | | 76.028 8 | 1910 年 4 月 20.1794 日 | 0.587 16 | 35.303 | 0.967 28 |
| 44 | C. Herschel-Rigollet | | 156.044 6 | 1939 年 8 月 9.464 0 日 | 0.748 49 | 57.221 | 0.974 18 |

（*）即从 0 时起算的格林尼治民同时。（**）预测指预测的根数，确定指确定的根数，半确定指半确定的根数。由观测得来的时间：(1) 10 月 5.03 日；(2) 10 月 20.410 4 日；(3) 6 月 6.452 日；(4) 8 月 23.85 日；(5) Wolf[2]和 Harrington 两彗星尚未确认为是同一颗彗星；(6) 8 月 7.9 日；(7) 8 月 25.770 6 日；(8) 1 月 22.464 日；(9) 7 月 22.66 日；(10) 2 月 10.675 日；(11) 10 月 23.648 日；(12) 11 月 11.30 日；(13) 5 月 26.31 日；(14) 11 月 10.78 日。

续表

| 号数 | $\omega$ 近日点升交距 | $\Omega$ 升交点的黄经 | $i$ 交角 | 春分点 | 计算者 | 发现者与发现期 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 185°.203 2 | 334°.743 4 | 12°.381 5 | 1950.0 | S. G. Makover<br>Encke,计算 1819 | Mechain17-1-1786 |
| 2 | 356°.366 9 | 215°.381 1 | 17°.626 4 | 1950.0 | C. Dinwodie | Grigg23-7-1902<br>Skjellerup17-5-1922 |
| 3 | 190°.992 7 | 119°.382 0 | 12°.432 7 | 1950.0 | T. A. Goodchild | Tempe13-7-1 873 |
| 4 | 193°.731 5 | 328°.002 7 | 10°.632 5 | 1950.0 | G. N. Neujmin | Neujmin24-2-1916 |
| 5 | 14°.917 8 | 101°.317 0 | 29°.386 1 | 1880.0 | E. Lamp | Brorsen26-2-1846 |
| 6 | 37°.945 5 | 165°.641 1 | 13°.796 9 | 1951.0 | L. Kresak<br>Kres | Tuttle2-5-1858<br>Giacobini1-6-1907<br>k24-4-1951 |
| 7 | 113°.688 1 | 290°.3111 | 5°.442 5 | 1910.0 | E. Maubant<br>L. Swift10-10-1880 | Tempe127-11-1869 |
| 8 | 296°.5800 | 48°.806 4 | 2°.965 6 | 1900.0 | F. H. Seares | De Vico22-8-1844<br>E. Swift20-11-1894 |
| 9 | 159°.493 1 | 78°.765 6 | 9°.767 5 | 1879.0 | R. Gautier | Tempe13-4-1867 |
| 10 | 170°.400 3 | 94°.346 5 | 21°.690 2 | 1950.0 | W. H. F. Calway<br>etJ. G. Porter | Pons12-6-1819<br>Winnecke8-3-1858 |
| 11 | 31°.711 8 | 253°.035 4 | 7°.221 8 | 1950.0 | G. Merton | Kopff20-8-1906 |
| 12 | 259°.741 1 | 25°.445 0 | 4°.621 1 | 1950.0 | F. R. Cripps | Forbesl-8-1929 |
| 13 | 166°.860 6 | 242°.294 2 | 15°.675 6 | 1909.0 | H. Kobold | Perrine8-12-1896 |
| 14 | 186°.914 1 | 254°.280 8 | 18°.500 0 | 1951.0 | A. Przylbylski | M. Wolf23-12-1924<br>Harrington4-10-1951 |

续表

| 15 | 358°.008 4 | 126°.043 3 | 3°.725 3 | 1950.0 | H. Q. Rasmusen | Schwassmann et Wachmann8-12-1928 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 171°.820 0 | 196°.231 9 | 30°.726 4 | 1946.0 | L. E. Cunningham | Giacobini20-12-1900 Montagne8-3- 1772 |
| 17 | 223°.280 8 | 245°.857 2 | 12°.554 4 | 1852.0 | J. S. Hubbard Biela27-2- 1826 | Zinner23-10-1913 |
| — | 223°.280 0 | 245°.857 8 | 12°.555 3 | 1852.0 | — | — |
| 18 | 174°.431 8 | 143°.613 7 | 18°.054 5 | 1950.0 | A. W. Recht | D'Arrest27-6-1851 |
| 19 | 7°.243 0 | 69°.735 9 | 19°.712 1 | 1950.0 | F. R. Cripps | Daniel6-12-1909 |
| 20 | 320°.580 0 | 45°.300 0 | 3°.433 3 | 1926.0 | S. Kanda et S. Hasumuma | Finlay26-9-1886 |
| 21 | 14°.305 8 | 331°.673 6 | 20°.817 5 | 1900.0 | J. Polak | Holmes6-11-1892 |
| 22 | 352°.552 5 | 77°.061 9 | 30°.529 7 | 1932.0 | A. Schaumasse | Borrelly28-12-1904 |
| 23 | 195°.584 0 | 177°.705 8 | 5°.539 5 | 1950.0 | F. R. Cripps | Brooks6-7-1889 |
| 24 | 200°.523 0 | 206°.307 2 | 10°.533 3 | 1947.0 | L. E. Cunningham | Faye22-11-1843 |
| 25 | 190°.468 0 | 188°.813 9 | 10°.223 1 | 1950.0 | D. H. Sadler et F. M. McBain | Whipple15-10-1933 |
| 26 | 12°.876 0 | 123°.599 4 | 8°.389 6 | 1950.0 | F. R. Cripps | Reinmuth22-2-1928 |
| 27 | 354°.653 4 | 155°.124 2 | 3°.988 9 | 1950.0 | Mlle Oterma | Mlle Otemna3-4-1943 |
| 28 | 51°.825 7 | 86°.381 9 | 12°.032 0 | 1950.0 | M. Sumner | Schaumasse30-11-1911 |
| 29 | 161°.145 6 | 203°.879 5 | 27°.316 3 | 1950.0 | M. Kamienski | M. Wolf17-9-1884 |
| 30 | 39°.929 9 | 62°.937 2 | 13°.460 8 | 1950.0 | H. Q. Rasmusen J. M. Vinter Hansen | Comas Sola5-11-1926 |
| 31 | 44°.332 2 | 135°.464 7 | 11°.280 4 | 1950.0 | Mlle | OtermaV is 18-2-1939 |
| 32 | 144°.807 | 156°.197 | 3°.761 | 1950.0 | W. H. Julian | Neujmin2-8-1929 |
| 33 | 209°.116 2 | 67°.253 7 | 11°.725 4 | 1950.0 | F. R. Cripps | Gale7-6-1927 |
| 34 | 206°.961 1 | 269°.843 1 | 54°.654 2 | 1950.0 | A. C. D. Crommelin | Mechain9-1-1790 Tuttle4-1-1858 |
| 35 | 356°.221 3 | 322°.004 1 | 9°.516 5 | 1950.0 | P. Herget | Schwassmann et Wachmann 15-11-1927 |
| 36 | 346°.694 5 | 347°.148 5 | 10°.0019 | 1948.0 | L. E. Cunningham | Neujmin3-9-1913 |
| 37 | 195°.875 0 | 250°.066 4 | 28°.897 2 | 1928.0 | A. C. D. Crommelin | Pons23-2-1818。Crommelin,计算 1928 |
| 38 | 358°.361 1 | 78°.494 6 | 17°.890 8 | 1943.0 | A. D. Dubiago | Coggia22-1-1867 |
| 39 | 57°.062 8 | 346°.789 7 | 40°.867 8 | 1913.0 | M. Viljew | Westphal24-7-1852 |
| 40 | 129°.516 1 | 310°.821 1 | 19°.193 1 | 1925.0 | P. Duckert Metcalf20-8-1919 | Brorsen20-7-1847 |
| 41 | 199°.192 5 | 254°.095 0 | 74°.043 3 | 1880.0 | L. Schulhof et J. Bossert | Pons12-7-1812 Brooksl-9-1883 |
| 42 | 65°.346 4 | 85°.368 6 | 44°.571 3 | 1950.0 | H. Q. Rasmusen | Olbers6-3-1815 |
| 43 | 111°.704 4 | 57°.270 0 | 162°.211 7 | 1910.0 | P. H. Cowell et A. C. D. Crommelin | 公元前 467 年 Halley,计算 1705 |
| 44 | 29°.298 9 | 355°.129 5 | 64°.199 4 | 1939.0 | Maxwell et K. P. Kaster | Caroline Herschel 21-12-1788 Rigollet28-7-1939 |

表中有些轨道根数是根据前人上次测定的根数所**预测的**,如果将行星的一切摄动都计算进去,这些预测根数就和实际接近。但是仍需做观测去决定过近日点的确切时刻,表下的附注即记载这些观测的时刻。

如果轨道是根据所有的观测来决定,而且把摄动计算进去的,叫做**确定的轨道**。

表Ⅰ内的彗星既然在多次回来的时候被观测到,求得它们从发现至最近的一次出现以来每次过近日点的日期,是很重要的。表Ⅱ便记载这些过近日点的日期。当彗星因光度太弱或者因在天空的位置不适宜观测而不能看到的时候,这些年代便放在括弧里面。

**表Ⅱ 周期彗星再回到近日点的年代**

| | |
|---|---|
| 1 | Eucke. -1786Ⅰ, (1789), (1792), 1795, (1799), (1802), 1805, (1809), (1812), (1815), 1819Ⅰ, 1822Ⅱ, 1825Ⅲ, 1829, 1832Ⅰ, 1835Ⅱ, 1838, 1842Ⅰ, 1845Ⅳ, 1848Ⅱ, 1852Ⅰ, 1855Ⅲ, 1858Ⅷ, 1862Ⅰ, 1865Ⅱ, 1868Ⅲ, 1871Ⅴ, 1875Ⅱ, 1878Ⅱ, 1881Ⅶ, 1885Ⅰ, 1888Ⅱ, 1891Ⅲ, 1895Ⅰ, 1898Ⅲ, 1901Ⅱ, 1905Ⅰ, 1908Ⅰ, 1911Ⅲ, 1914Ⅵ, 1918Ⅰ, 1921Ⅳ, 1924Ⅲ, 1928Ⅱ, 1931Ⅱ, 1934Ⅲ, 1937Ⅵ, 1941Ⅴ, (1944), 1947Ⅺ, 1950e |
| 2 | Grigg-Skjellerup. -1902Ⅱ, (1907), (1912), (1917), 1922Ⅰ, 1927Ⅴ, 1932Ⅱ, 1937Ⅲ, 1942Ⅴ, 1947Ⅱ, 1952b |
| 3 | Tempel(2). -1873Ⅱ, 1878Ⅲ, (1884), (1889), 1894Ⅲ, 1899Ⅳ, 1904Ⅲ, (1910), 1915Ⅰ, 1920Ⅱ, 1925Ⅳ, 1930Ⅷ, (1936), (1941), 1946Ⅲ, 1951d |
| 4 | Neujmin(2). -1916Ⅱ, 1921Ⅴ, 1927Ⅰ |
| 5 | Brorsen. -1846Ⅲ, (1851), 1857Ⅱ, 1868Ⅰ, 1873Ⅵ, 1879Ⅰ |
| 6 | Tuttle-Giacobini-Kresak. -1858Ⅲ, …, 1907Ⅲ, …, 1951f |
| 7 | Tempel-L. Swift. -1869Ⅲ, (1874), 1880Ⅳ, (1886), 1591Ⅴ, (1897), (1903), 1908Ⅱ |
| 8 | De Vjco-E. Swift. -1678, …, 1844Ⅰ, …, 1894Ⅳ |
| 9 | Tempel(Ⅰ). -1867Ⅱ, 1873Ⅰ, 1879Ⅲ |
| 10 | Pons-Winnecke-1819Ⅲ, (1825), (1830), (1836), (1842), (1847), (1853), 1858Ⅱ, (1863), 1869Ⅰ, 1875Ⅰ, (1881), 1886Ⅵ, 1892Ⅳ, 1898Ⅱ, (1904), 1909Ⅱ, 1915Ⅲ, 1921Ⅲ, 1927Ⅶ, 1933Ⅱ, 1939Ⅴ, 1945Ⅳ, 1951c |
| 11 | Kopff. -1906Ⅳ, (1912), 1919Ⅰ, 1926Ⅱ, 1932Ⅲ, 1939Ⅱ, 1945Ⅴ, 1951e |
| 12 | Forbes-1929Ⅱ, (1935), 1942Ⅲ, 1948e |
| 13 | Perrine(1)1896Ⅶ, (1902), 1909Ⅲ |
| 14 | Wolf(2)-Harrington. -1924Ⅳ, (1931), (1938), (1944), 1951k |
| 15 | Schwassmann-Wachmann(2). -1929Ⅰ, 1935Ⅲ, 1942Ⅰ, 1947Ⅰ |
| 16 | Giacobini-Zinner. -1900Ⅲ, (1907), 1913Ⅴ, (1920), 1926Ⅵ, 1933Ⅲ, 1940Ⅰ, 1946Ⅴ |
| 17 | Biela. -1772, (1779), (1785), (1792), (1798), 1806Ⅰ, (1812), (1819), 1826Ⅰ, 1832Ⅲ, (1839), 1846Ⅱ, 1852Ⅲ. 1846年这颗星分裂为二,1852年都被重新发现 |
| 18 | D'arrest. -1851Ⅱ, 1857Ⅷ, (1864), 1870Ⅲ, 1877Ⅳ, (1884), 1890Ⅴ, 1897Ⅱ, (1904), 1910Ⅳ, (1917), 1923Ⅱ, (1930), (1937), 1943Ⅲ, 1950a |
| 19 | Daniel. -1909Ⅳ, (1916), (1923), (1930), 1937Ⅰ, 1943Ⅳ, 1950d |
| 20 | Finlay. -1886Ⅶ, 1893Ⅲ, (1900), 1906Ⅴ, (1913), 1919Ⅱ, 1926Ⅴ |
| 21 | Holmes-1892Ⅲ, 1899Ⅱ, 1906Ⅲ |

续表

| | |
|---|---|
| 22 | Borrellty(1). -1905Ⅱ，1911Ⅷ，1918Ⅳ，1925Ⅷ，1932Ⅳ |
| 23 | Brooks(2). -1889 V. 1896Ⅵ，1903Ⅴ，1911Ⅰ，(1918)，1925Ⅸ，1932Ⅷ，1939Ⅶ，1946Ⅳ |
| 24 | Faye. -1843Ⅲ，1851 Ⅰ，1858Ⅴ，1866Ⅱ，1873Ⅲ，1881Ⅰ，1888Ⅳ，1896Ⅱ，(1903)，1910Ⅴ，(1918). 1925Ⅴ，1932Ⅸ，1940Ⅱ，1947Ⅸ |
| 25 | Whipple. -1933Ⅴ，1941Ⅲ，1947g |
| 26 | Reinmuth(1). -1928Ⅰ，1935Ⅱ，(1942)，1949f |
| 27 | Oterma. -1942Ⅶ，1950 |
| 28 | Schaumasse. -1911Ⅶ，1919Ⅳ，1927Ⅷ，(1935)，1943Ⅴ，1951Ⅰ |
| 29 | WOlf(1). -1884Ⅲ，1891Ⅱ，1898Ⅳ，(1905)，1912Ⅰ，1918Ⅴ，1925Ⅹ，1934Ⅰ，1942Ⅵ，1950c |
| 30 | Comas Sola. -1927Ⅲ，1935Ⅳ，1944Ⅱ，1951b |
| 31 | V is l. -1939Ⅳ，1949b |
| 32 | Neujmin(3). -1929Ⅲ，(1940)，1951g |
| 33 | Gale. -1927Ⅵ，1938Ⅰ |
| 34 | Tuttle. -1790Ⅱ，(1803)，(1817)，(1831)，(1844)，1858Ⅰ，1871Ⅲ，1885Ⅳ，1899Ⅲ，1912Ⅳ，1926Ⅳ，1939Ⅹ |
| 35 | Schwassmann-Wachmann(1). -1925Ⅱ，1941Ⅵ |
| 36 | Neujmin(1). -1913Ⅲ，1931Ⅰ，1948f |
| 37 | Crommelin. -1457Ⅰ(?)，…，1625(?)…，1818Ⅰ，(1846)，1873Ⅶ，(1901)，1928Ⅳ |
| 38 | Coggia-Stephan. -1867Ⅰ，(1904). 1942Ⅸ |
| 39 | Westphal. -1852Ⅳ，1913Ⅵ |
| 40 | Brorsen-Metcalf. -1847Ⅴ. 1919Ⅲ |
| 41 | Pons-Brooks. -1812，1884Ⅰ，1953c |
| 42 | Olbers. —1815，1887Ⅴ |
| 43 | Halley. -466，(-390)，(-314)，-239，-162(?)，-86，-11(?)，+66，141，218，295，374，451，530，607，684，760，837，912，989，1066，1145，1222，1301，1378，1456，1531，1607，1682，1759Ⅰ，1835Ⅲ，1910Ⅱ |
| 44 | C. Herschel-Rigollet. -1788Ⅱ，1939Ⅵ |

因为使用大型望远镜，我们今天可用拍照的方法，在过近日点以前很久就发现已经算出方位的周期彗星，那时这些彗星在照片上像很淡的圆形星云状的斑点，光度有时还不到19或20等。

按照国际天文协定，彗星的命名是用一个人名再跟随一个年号。这个人名常是这颗彗星的发现者，或首先把他的发现通知哥本哈根天文台天文电信中心机构的人。发现人应该说明彗星在天上的方位、观测的时间，如有可能，最好说出它在24小时里的运动（以便别人容易找到它），再加上它的视星等和它形态的简短描绘。这些消息立刻就用电报和航空邮简传播给世界各国的天文台。同一颗彗星时常被几个人独立地在几小时或几天之内发现，但是一颗彗星的命名，至多只能用把他们的发现首先通知哥本哈根的三个人。有时一颗周期彗星起初并没有被人认识它是周期的，或者它的周期没有算得足够精确，再一次回来的时候，又被人发现。既经证明在各时期所观测到的是同一颗彗星的时候，也将再

度发现的人附加上去，但仍以三人为限。但是在某些特殊的情形下，彗星是用计算轨道者的姓氏命名的，这是因为他们计算的高明，足以把各时期出现的彗星确认是相同的一颗，例如哈雷彗星、恩克彗星和克朗林彗星都是这种情形。

发现人的姓氏加在彗星之上，后面还要附上发现的年代和一个小写字母，如 $a$ 是表明哥本哈根天文台在那年所公布的第一号彗星。举一个例子来说明：维塔南（Wirtanen）于1948年10月7日在里克天文台发现那年的第11颗彗星，它就叫做维塔南彗星 1948$k$，这种以字母代替发现次序的命名法是临时的。

几年以后，还有另外一种确定的命名法。由轨道的计算得出彗星过近日点的时期以后，更按这时期的先后并重新编排次序，于是在年代后面加上一个罗马数字。用上面的那个例子来说，维塔南彗星于1947年9月3日过近日点，它的确定的名称是维塔南彗星1947Ⅷ。

这个例子说明按彗星过近日点的时期的次序排列彗星是需要等待相当长的时间的（常是三四年），因为通常可能遇到一颗彗星过近日点的时刻远在它被发现的时刻以前。至于两颗彗星差不多同时过近日点的情形，更需要等待到确切的轨道算出以后才行。

如果几个周期彗星有同一的名称，后面便附上一个数字放在括弧里面，代表它们的轨道的椭圆特性以及被确定时的先后次序。

由表Ⅰ容易算出周期彗星以后再回来的时期。这只需在最近出现的日期上加上公转周期 $P$ 一次或数次。但是公转周期有时受到摄动的相当大的影响，这样算出的预测回归期，可能是很不可靠的，应当等待精密的计算公布出来以后才能确定。英国天文协会出版的天文学手册里，就有这一类很可贵的资料。

由表Ⅰ可见短周期彗星的远日点距离 $p$，如果不管轨道的交角，可以按距离大行星的轨道远近而分为不同类型。下面写出几颗大行星的近点距和远点距，以表现它们运行的范围：

木　星：4.9 至 5.5 天文单位　　土　星：9.0 至 10.1 天文单位

海王星：29.9 至 30.4 天文单位　天王星：18.3 至 20.1 天文单位

我们应该记住长轴在长时期里有一点移动，偏心率也在变化，因此每颗行星所扫过的区域比上面所举的要大一点。

再按周期也可将彗星分类，下表表示了大概的情况。

| | 周期 | 彗星的数目 |
|---|---|---|
| 木星类 | 小于 10 年 | 60(30) |
| 土星类 | 10～20 年 | 8(6) |
| 天王星类 | 20～40 年 | 3(2) |
| 海王星类 | 40～100 年 | 9(5) |
| 海王星以外 | 大于 100 年 | 123(1) |

表内周期按 10 个整年为组距分类。第三列里的数字是指在那些周期内所有彗星的数目，至于括弧内的数字是指这些彗星当中它们的回来已经被人观测过的次数。

这样的分类不能当做是偶然的集合，它说明行星的引力在彗星轨道范围的大小上是有决定性作用的。就是由于这个原因，才产生了捕获理论。今天大家基本上认为可见的彗星原来是在很大的轨道上运行，需要几千乃至几百万年才能经行一周。如果这些轨道的偏心率有一些近于 1，它们差不多将是抛物线的。如果它们的近点距相当短，彗星进入大行星所在的区域，假使它和某一颗大行星靠得相当近，它所接受到的摄动便相当大，它的轨道将会大大地改变，它的长轴大大地变短，于是这颗彗星到了远日点处，也就和这颗施摄动的行星的轨道相距不远了。

提倡捕获理论的拉普拉斯以为彗星和流星都是从星际空间来的。这种理论后来经 H. A. 牛顿进一步研究，计算了一颗彗星被摄动力最大的木星所捕获的概率。根据他的计算，假使有 1 亿颗近似抛物线轨道的彗星，近点距短于 1 个天文单位，周期改变成为小于 1 000 年的彗星的数目如下：因木星作用的是 9 万，因土星作用的是 2 400，因天王星作用的是 14，因海王星作用的是 8。可见在 40 颗周期彗星中只有一颗是由于土星的作用而来的，天王星和海王星的作用更只是 1/4 000 了。最后这两颗大行星的作用很是微弱，罗素根据经验证明所谓海王星类的彗星实在并没有和海王星十分接近而受到它足够的影响，也许它们是被木星捕获的。

我们可以断言，短周期彗星差不多全部是被木星所捕获的。上面所说的彗星分类的方法不应该看做是按它们的周期长短而划分的，不过捕获理论也有很大的困难。在谈到彗星的来源时，我们还要讨论这些数据。

周期彗星也像许多别的彗星一样，一般是肉眼所看不见的。可是在它们当中有一颗很漂亮的，就是我们说过的哈雷彗星。还有一颗相当漂亮的，是庞斯-布鲁克斯彗星，于 1812 年 7 月 12 日被庞斯在马赛所发现。借舒耳霍夫(Schulhof)与博塞特(Bossert)所算的星历表，在 1883 年 9 月 1 日又被布鲁克斯在纽约盼费耳普斯(Phelps)再度发现。伊丽莎白·罗梅尔于 1953 年 6 月 20 日复在里克天文台第三次发现，其形状像很暗的 17 星等

的弥漫星气，它应该在 1954 年 5 月 22 日过近日点，但它在天空中的位置是难于观测的。

这一颗彗星第一次回来的时候，从 1883 年 12 月至 1884 年 3 月，肉眼可以看得见。在最明亮时达 2 星等，彗星约长 8°，它的光亮和奇特的形态都有变化，这是 1812 年所没有的。1883 年 9 月美国的钱德勒(Chandler)和意大利的斯基帕雷利看见它，起初是星云状，继而变成一个星点，最终又是一团星气。1884 年 1 月 1 日，波茨坦的米勒(Müller)用目视法查出它在 $1\frac{3}{4}$小时内光亮变了 0.7 星等。从 1 月 13 日至 18 日，特里皮耶(Trépied)在阿尔及尔每天观测，但没有找出任何特殊的变化。但是在 1 月 19 日，彗头的中心部分完全改观。那里出现显然不同的三区，如像表现在特里皮耶所绘的略图上的那样，中心有一圆晕，两条方向相反的光芒从中心彗核处发出。这种特殊的情况是由于固体核心处发射气体的活动程度有所变化而引起的。

有几颗彗星具有有趣的历史。第一个著名的叫做恩克(Encke)彗星，是 1818 年 11 月 26 日(1818b=1819 Ⅰ)被马赛天文台看门工人庞斯所发现的。柏林的天文学家恩克根据计算证明这颗彗星和 1786 年、1795 年与 1805 年所看到的三颗是同一星体，周期是 3 年 106 日或者只有 1 218 日，因行星的摄动作用这周期可以变化几日。自 1818 年以来这颗只能由望远镜看见的彗星，总是每次都归来的，只有 1944 年那一次没有被人看见。很奇特的是每次回归周期总变短一些，大约是 1/10 日或 2.5 小时。下面是恩克所发表的表，它说明已经消除了大行星的摄动的影响之后，它的运动还有一些加速现象。

| 年 | 周期(日数) | 年 | 周期(日数) | 年 | 周期(日数) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1786 | | (1812) | 1212.00 | 1838 | 1211.11 |
| (1789) | 1212.79 | (1815) | 1211.89 | 1842 | 1210.98 |
| (1792) | 1212.67 | 1819 | 1211.78 | 1845 | 1210.88 |
| 1795 | 1212.55 | 1822 | 1211.66 | 1848 | 1210.77 |
| (1799) | 1212.44 | 1825 | 1211.55 | 1852 | 1210.65 |
| (1802) | 1212.33 | 1829 | 1211.44 | 1855 | 1210.55 |
| 1805 | 1212.22 | 1832 | 1211.32 | 1858 | 1210.44 |
| (1809) | 1212.10 | 1835 | 1211.22 | | |

1868 年前后所做的观测说明这加速度忽然减少了一半，这变化的真实性和永恒性从 1885 年以来算是已经被证明了的事实。

许久以前，人们想把这现象解释为由于存在阻力的缘故。但是这个假设和事实发生矛盾，因为大部分轨道大小类似的短周期彗星，并不表现出这样的加速度。根据惠普尔(Whipple)的假设，这是因为从旋转的彗核发射出的气体的作用影响了彗星的运动，今天

的研究正在向这方面发展，以后我们还要谈到。从 1868 年以来，加速度的减少可以解释为彗核发射气体的方式发生了变化。

恩克彗星形似一团不大亮的星云气，有时后面有着一条短短的尾巴。它很少被肉眼看见，虽然当它接近太阳的时候，有些人把它的星等估计为 5。那时彗星在近日点，距离太阳只有 0.33 天文单位，像水星一样，沉浸在地平附近的昏光里。这样它便被大气的吸光弄暗了，只有在望远镜里才能被人看见。我们时常看见从彗核射出的气体，它在太阳的方向上特别明亮。

恩克彗星已有 51 次返回近日点，由每次所做的光度测量看来，没有发现它的绝对亮度有什么变化。这是值得注意的一件事实。

表Ⅰ中的第 17 号周期彗星还更奇怪。1826 年 2 月 27 日奥地利的一位姓比拉的军官在约塞夫斯达发现了这颗彗星。十天以后冈巴尔(Gambart)在马赛又发现并且计算了它的轨道根数。他认出这颗彗星便是 1772 年 3 月 8 日蒙塔尼(Montagne)在利莫日所发现的，也是 1805 年 11 月 9 日庞斯在马赛所发现的。贝塞尔(Bessel)和别的计算者根据最后出现那一次的观测决定了它的轨道根数，怀疑这就是蒙塔尼所发现那一颗彗星。1812 年和 1819 年两次归来经人预先推算，但却缺少观测报告。

这颗彗星在 1826 年以后的归来曾经由桑提尼(Santini)、达木瓦佐和奥伯斯加以计算。桑提尼将地球、木星和土星的摄动计算进去以后，求得比拉彗星应该于 1832 年 11 月 27 日过近日点。达木瓦佐的研究结果基本上和桑提尼的相同。1828 年奥伯斯唤起人们注意比拉彗星最接近地球轨道的时候，虽然只有 3.2 万千米，但是地球要在一个月以后才过那一点。所以人们不必害怕，因为那时彗星距离地球已有 8 000 万千米了。可是一般群众的确产生了恐慌。

桑提尼的计算很成功，因为这颗彗星过近日点的时刻比计算只差了 12 小时。1839 年回来的时候，因它的视位置和太阳接近，没有被人观测到。桑提尼继续进行预报的计算，把过近日点的时刻定在 1846 年 2 月 16 日。德·维科(De Vico)于 1845 年 11 月 28 日在罗马找着了它，正在理论所指定的位置上。天文学家耐心地去追踪它，可是 1846 年 1 月 13 日没有料到的现象忽然发生：**比拉彗星分裂成两颗了！** 13 个月以前亨德在彗核上已经看出一个突出的部分，分裂出的部分起初又暗又小，不久就愈来愈光明了(图 497)。



图 497　比拉彗星分裂为二(1846 年 2 月 19 日斯特鲁维绘)

这颗彗星的两体像孪生的姊妹一般,继续在空间运行,每一颗各自有它的核和发,慢慢地分离开来。到 2 月 10 日它们中间已有 24 万千米的距离。2 月底的时候,华盛顿的莫里(Maury)看见两彗星之间有一座明亮的桥梁,因为主彗星具有相距共 120°的三尾,其中一尾朝着副彗星的方向射去。

1852 年 9 月这一对姊妹彗星回来了。它们彼此距离更远,隔了 240 万千米(图 498)。

这颗奇特的彗星所表现的奇怪现象,还不只此一点。前面这种灾祸不过是它命运的预兆。

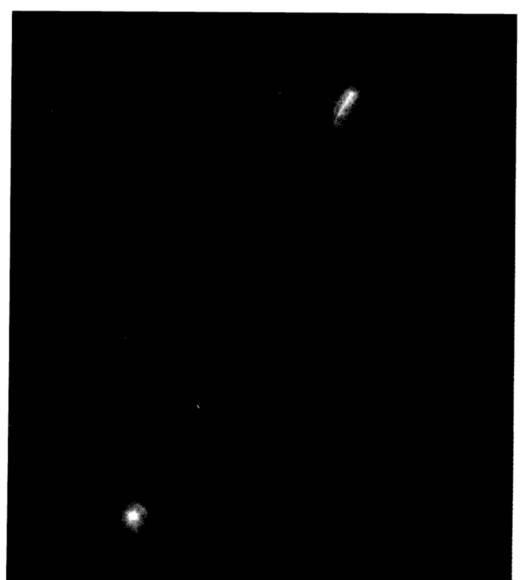


图 498　比拉彗星分裂为二(1852 年 9 月 20 日)

1859 年比拉彗星应该回来,但因和 1839 年相同的原因,没有被人看见。1865 年的一次归来,天文学家抱着浓厚的兴趣期待着,因为它将来到天空便于观测的位置。虽然计算很精确,许多天文台的寻找也很活跃,可是比拉彗星总找不着。自那时以后这颗彗星就从来没有被人再找着过。想必是有一件严重的意外事故在这颗彗星上发生了。

这颗分裂为两颗以后而失踪了的彗星,还为我们留下一件惊奇的事情。它的轨道经过地球轨道的那一点,地球于 11

月 27 日通过。我们已经忘记了这颗彗星,可是 1872 年 11 月 27 日的夜晚,天上落下一阵真正的流星雨,这绝不是夸大的形容词,真的像骤雨般那样落下,又像火焰那样飞过,这里是耀眼的火球,那里是无声的流弹,到处都像是在放射火焰……这样的流星雨从夜晚 19 时一直下到早上 1 时,极盛期在 21 时。罗曼大学天文台有人数了计 13 892 枚,蒙卡利里有人数了计 33 400 枚,英国一位观测者数了计 10 579 枚。有人估计总数在 16 万枚左右。这些流星都从天空中相同的一点,即是在仙女座明亮的 γ 星附近出来的。

这一阵流星雨是从哪里来的呢? 无疑这是由于地球碰着了沿比拉彗星的轨道运行的无数小颗粒而造成的现象。如果比拉彗星还存在的话,它该在 12 个星期以前早就经过那里了。严格说来,地球所碰着的并不是彗星本身,也许是它的彗核的一部分,自 1846 年解体以后彗核分离,其中的颗粒物质沿着它的轨道分布在彗头后面。这一群流星和比拉彗星的亲属关系是不能有丝毫怀疑的。1885 年 11 月 27 日同样的现象又发生了,整个欧洲都看见一阵很漂亮的流星雨,那正是地球经过比拉彗星的轨道的时候。至于比拉彗星本体却从来没有被人再看见了。回溯过去,我们得知仙女座的流星辐射点在 1798 年、1830 年和 1838 年已经被人观测过,那么,流星也存在于彗星前面大约 5 亿千米处。至于 1872 年出现的流星,便是在它后面 3 亿千米处的。所以这一群流星沿着彗星的轨道分布之广,至少有 8 亿千米。可见比拉彗星在崩解以前,在它的路途上已经有分布一长串颗粒的带子了。

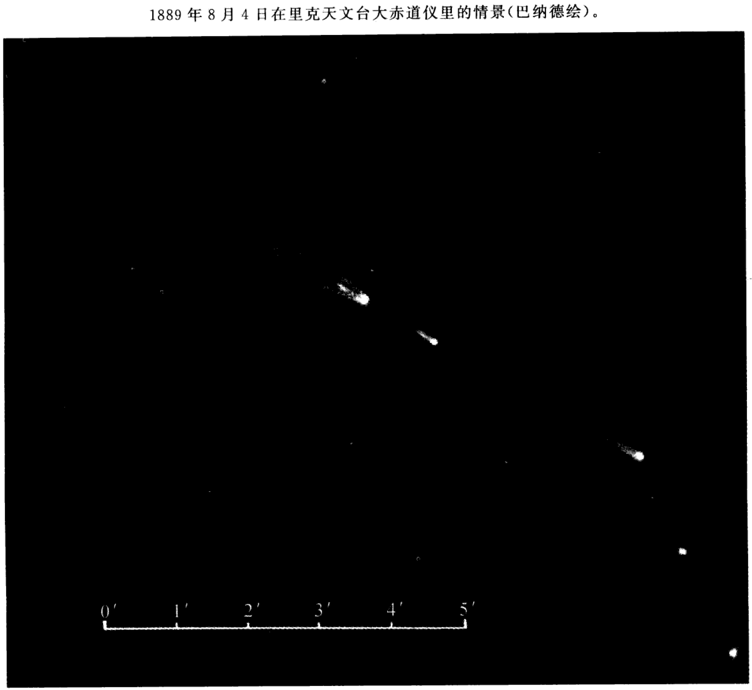
这便是这颗奇特的彗星的简史。一颗彗星崩裂为两颗或许多颗虽然是很稀罕的,但在历史上这不是独一无二的事情。塞内克根据希腊历史学家埃福罗斯的记载说公元前 372 年冬季有一颗美丽的彗星出现过,曾被西西里岛的狄奥多罗斯描写为"一束光明的、异常伟大的火炬",亚里士多德也把它叫做"奇特的星",这颗彗星在它快看不见的时候分裂成两颗,各走不同的道路。塞内克还怀疑埃福罗斯的记载不大可靠,可是德谟克利特也说过人们曾看见彗星崩裂后的"星星"。开普勒批评说这并非是不可能的事,1618 年的第二颗彗星便有这种现象。还可举出下面几个类似的例子。中国的天文学家还记载了于 896 年出现的三彗。在马端临的《文献通考》第 294 卷内有关于它们的描写。他说:"唐昭宗乾宁三年(896)有客星三,一大,二小,在虚危间,乍合乍离,相随东行,状如斗。经三日而二小星先没,其大星没虚危齐分也。"1652 年出现的彗星,核部分解为密度比彗星别的部分稍微大一些的四五颗,1661 年和 1664 年所出现的彗星亦有类似的现象。1868 年 5 月 14 日布罗尔孙周期彗星(表Ⅰ中的第 5 号)出现有 4 颗彗星或者 4 个凝聚点。这颗彗星围绕太阳运行,周期是 5.4 年,自 1879 年便没有人再看见过它。



图 499　**李耶双彗**（1860 年 3 月 11 日）

1860 Ⅰ彗星由法国天文学家李耶(Liais)于 2 月 26 日在巴西的奥林达(Olinda)发现。在 2 月 27 日他所绘的图上，表现了主彗星后面跟随有一个暗得多的星云状的气团(图 499)。3 月 11 日，这个副气团并没有变化，可是主彗星已经不是一颗核，而出现"两颗比较小的中心，位置在最长的轴的方向上(图 499)。可是 3 月 11 日，彗头再分成两体，这样就造成了三个分彗星"。第二天，3 月 12 日，只剩下中央密集的部分。最后的观测到 3 月 13 日为止。因为这颗彗星的轨道是抛物线，以后的情况怎样自然不会知道了。1889 Ⅴ那颗暗的周期彗星是 7 月 6 日布鲁克斯(Brooks)在日内瓦所发现的〔又名布鲁克斯彗(2)〕，它后面跟随有 5 团星气，曾由巴纳德在里克天文台观测过，它们的亮度有显著的变化。其中两个有短尾，主彗星的尾长达 30′，肉眼可以看见(图 500)。

图 500　**布鲁克斯彗(2)和它的伴彗**
1889 年 8 月 4 日在里克天文台大赤道仪里的情景(巴纳德绘)。



总的说来，有些彗星分裂成几部分，甚至被毁成微小的碎片，进一步变成像雨点般的流星，已经是屡见不鲜的事了。

除了这些再度回来已经被证明的彗星之外，我们还可以加上另外一些彗星，它们的椭圆轨道虽然已经被人算出，但是它们的回来却没有被人看见〔巴耳代在每年的《经度局年册》和《弗拉马里翁年册》里，列出一张最近的、周期小于200年的彗星的根数表。1954年的表里有41颗这样的彗星〕。这样的彗星比前一类的彗星更多，但是我们不能确定一颗正常的彗星会失踪或者消逝，更合理的解释恐怕是根据靠近太阳的一段小弧所决定的椭圆轨道，其周期是很不确定的。在这样的情况下，要去计算大行星所施的摄动就不可能。而且木星的引力还可以把和它太接近的彗星的轨道完全改变。例如周期为5.5年的布罗尔孙彗星所走的轨道，于1760年和1842年被木星大大地改变，1937年又有新的和大的摄动加在它上面，不幸这颗彗星自1879年回来以后就失踪了。

计算彗星轨道的人时常喜欢在计算的结果上将代表根数的数字写上许多位小数。他们明明知道这样表面上的精确度远远超出观测的精确度。这些貌似多余的数字，在有新的观测出来的时候，用作改进轨道、计算改正项，却是需要的。如果轨道很椭长，计算出来的范围便很不确定。在长轴上，因而周期可能有很大的误差，可达数千年之巨，对于接近抛物线轨道的情形误差就更厉害了。直到19世纪末，在欧洲所观测到的彗星，最著名的有1680、1682、1744、1811Ⅰ、1843Ⅰ、1858Ⅵ、1861Ⅱ、1862Ⅲ、1874Ⅲ、1880Ⅰ、1881Ⅲ、1882Ⅱ、1883c和1887Ⅰ14个。20世纪前半世纪有1901Ⅰ(南半球)、1910Ⅰ(南)、哈雷彗星(1910Ⅱ)、1927Ⅸ(南)、1947n(南)和1948Ⅰ(南)等6颗彗星〔1948、1957年我国许多地方都看见过肉眼可以看到的彗星，其中以1957年8月看到的最亮。——校者注〕。

1680年的大彗星是被基尔希(Kirch)发现的，我们说过它被惠斯顿弄出了名。他说这颗彗星从前有一次出现时，正是圣经上所载的洪水泛滥的时候。其实它之所以著名是由于牛顿的计算，而不是由于惠斯顿的胡说。这颗彗星给牛顿以数据上的依据，使他能以此建立他的彗星运动的理论。最奇特的是它掠过太阳而没有被焚毁，安然无恙地又从这洪炉里走了出来！根据恩克的计算，这颗彗星的轨道很椭长($e=0.999\,985$)，几乎是抛物线了，周期为8 800年。它的远日点，距离太阳为850天文单位，约合1 300亿千米，它的近日点却距离太阳的中心为0.006 22天文单位，只有93万千米。因为太阳的半径是69.5万千米，所以这颗彗星距离太阳炽热的表面只有23.5万千米，以每秒530千米，或每小时192万千米的高速经过了日冕。因为彗核受热，至少它的表面上受热(因为它在中央焦点上的时间很短，热力没有时间达到彗星的深处)，致使它的尾部延伸得很长，长达2.4亿千

米，约等于太阳到火星轨道的距离。

第二颗没有那样好看，这便是1682年的彗星，也就是哈雷计算过轨道的彗星。由于许多天文学家，特别是考维尔和克朗林的研究，在历史上找出了它出明的时期。自公元前467年它就被天文学家观测过。公元前390年和公元前314年的两次回来，在历史上没有记载，但是自公元前239年以后它的每次回来在各民族的历史上均有记载（见表Ⅱ周期彗星再回到近日点的年代）。

1843年的明亮彗星（1843Ⅰ）比1680年的彗星还要奇特。它的轨道根数被克罗茨（Kreutz）测定得相当精确。它的轨道很椭长的（$e=0.999\,914$），周期约为500年，距离太阳在远日点是130天文单位或200亿千米，但在近日点只有0.005 527天文单位，或者距太阳中心为82.5万千米，距太阳表面为13万千米，这只相当于地球月亮间的距离的1/3。这颗彗星曾从日冕里经过，如果那时不是太阳活动极小时期，它可能从日珥里经过。这个奇特的过路客人这一次仍然是平安地出来，它的运动和面貌都没有丝毫改变。

这件事是在1843年2月27日21时52分发生的。因为它迅速地飞跃前进，这颗彗星只用了2小时（21至23时）时间便绕过太阳的半个球面，而越过了它的近日点。它那时的速度超过每秒550千米。4天以后，我们看见在它后面的背着太阳处伸出了一条长达3.2亿千米的尾巴，这距离超过地球太阳间距离的2倍。2月28日白天它出现在太阳的旁边。18世纪的时候，1743年的彗星也曾在白天出现，同样1547年、1500年、1402年、1106年的彗星都曾在白天出现。有人于2月19日、23日和26日在百慕大、费城和波多黎各看见这颗彗星。2月28日在帕尔马、博洛涅、墨西哥和美国的波特兰等地看见它在太阳的东边1°23′处出现，尾长4°至5°，消逝在大气的光辉里。3月1日日落时，有人在南半球智利的科皮亚波（Copiapó）看见一颗明亮的彗星，尾长30°，当然此尾是被黄昏弄短了不少。3月4日在赤道上有一位船长测量彗尾，长达69°。据拉蒙特（Lamont）说，这颗彗星的长度曾达90°。据李特罗（Littrow）说，它的光亮远远超过银河的亮度。17日在巴黎的人们才第一次看见这颗彗星，18日尾部经测量长为43°、宽为1°2′，根据阿拉戈的计算，实长2.4亿千米，宽580万千米（图501）。



图 501　1843 年 3 月 19 日的大彗星

当这颗彗星的核和太阳接近的时候，它的尾部起了什么变化呢？没有观测结果可以来回答这个问题。根据过近日点以后一些日子的观测，说明彗尾是直线的。绘制彗星轨道的轨迹时，大家已经习惯光画一个椭圆，把太阳放在一个焦点上，从彗头延长到彗星总是恰好和太阳方向正象反的一条直线，好像从灯塔里放射出来的一线光辉那样。这假设是受了彗尾的光学理论影响的缘故，这个理论是米兰的医生卡尔当(Cardan)所提出的，于1554 年发表在他的《维妙论》之中。书中的意义是很含糊的："显然彗星是天空的球体，被日光照亮才能被人看见，日光穿过它造成像须或尾那样的幻影。"古代的哲学家巴内提斯(Panétius)，以后的阿皮扬(Apien)、第谷、日耳果恩(Gergonne)、塞杰(Saigey)都曾表示过相似的意见。彗尾只是日光的一种表现，经彗头的透明物质折射，如像透镜折光一般。那么，牛顿和格列高利(Gregory)批评说，日光就该受颗粒状物质的漫射了。自从人们作了彗星的光谱分析以后，已经完全放弃这种见解，由彗星的形状和运动以及星际空间的研究，已经获得不少有效的数据。

假使彗尾真的是直线的，位于像灯塔所射出的光线的方向，那么它的末端在空中扫过的速度将会大得难于想象。假设彗尾的长度等于地球与太阳的距离，它的末端在 2 小时内将会扫过地球轨道的一半，即 4.64 亿千米，那么速度将会是每秒 6.44 万千米了！彗尾上的分子的速度便是不可想象大的双曲线速度，彗尾就会脱落，立刻弥散到空间里去。事实上从来没有这个现象：1680 年和 1843 年的彗星的尾巴是直线形的，但并没有破裂的痕

迹。在过近日点的短暂时间里，彗尾缩短的时候好像会扩散。当它在几小时内由异常迅速的运动变缓的时候，它才能改变形态。事实上，2 月 27—28 日它扫过 292°的一段弧，日光的斥力给予它的分子的速度也该很大，约超过每秒 1 000 千米的数量级。



图 502 1853 年的彗星(弗拉马里翁绘，时年 13 岁)

这颗彗星过近日点 3 个半月之后，即到了 1843 年 6 月的时候(我们说过那是黑子极少的一年)，有人用肉眼在太阳表面上看出一颗异常大的黑子，直径长 11.9 万千米，有地球直径的 10 倍之长，能用肉眼看见这颗黑子的时间，达整整 1 星期之久。有人假想这颗黑子可能是伴随 1843 年彗星的一块大陨石坠落在太阳表面上所造成的。可是没有证据去验证这个假说。

有关这颗奇怪的 1843 彗星，我们还可举出 1880 Ⅰ、1882 Ⅱ、1887 Ⅰ 和 1945 Ⅶ 四颗彗星，在轨道和外貌上都和它有奇特的相似。这四颗的近日距都很短，小于 0.01 天文单位。再加上 1668 年的一颗彗星，这六颗彗星形成一群，因为它们轨道的根数相似，我们可以假想它们走相同的轨道。下表内记载了这些根数。

| 彗星 | $\omega$ | $\Omega$ | $i$ | $q$ | $e$ | 远日点 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $\lambda$ | $\beta$ |
| 1668 | 109°.8 | 358°.6 | 144°.3 | 0.066 6 | 1 | 65° | −33° |
| 1843 Ⅰ | 82°.6 | 1°.3 | 144°.3 | 0.005 5 | 0.999 91 | 100° | −35° |
| 1880 Ⅰ | 86°.2 | 5°.1 | 144°.7 | 0.005 5 | 1 | 101° | −35° |
| 1882 Ⅱ | 69°.6 | 346°.0 | 142°.0 | 0.007 8 | 0.999 91 | 101° | −35° |
| 1887 Ⅰ | 58°.4 | 324°.6 | 128°.5 | 0.009 7 | 1 | 99° | −42° |
| 1945 Ⅶ | 50°.9 | 321°.6 | 137°.0 | 0.006 3 | 1 | 100° | −32° |

$\lambda$ 和 $\beta$ 代表远日点的黄经和黄纬。我们可以看见这六颗彗星差不多是从空间的同一方向而来的。我们不应该期待它们像在同一条铁道上运行的火车那样每次走过完全相同的轨道。假使有两颗彗星在某一时期内走相同的轨道，就要像比拉彗星的两部分那样，由于质量分离时速度的方向以及从彗核发出的气体的反作用等等的差异，使这两颗彗星渐渐彼此离开。

天文学家对于这一群彗星和类似而没有这样著名的彗星群讨论得很多。波尔特曾经根据轨道根数的相似和远日点的接近，列出 20 多群彗星。是不是每一群都由一颗彗星崩

裂成二、三、四、五、六部分且因为它们在空间里走了几千年才彼此分离开了呢？这是很可能的，但却难以证明事实真是这样的。可是这问题却值得仔细研究，因为我们说过有些彗星的轨道上有颗粒状陨星的洪流，在彗星的前后跟着，这种现象对于太阳系的构造和起源的研究是能给予重要线索的。

1811 年的大彗星是近代最著名的一颗彗星。它对战争中的民族精神有很大的影响，拿破仑以为这是他进攻俄罗斯会成功的预兆。可是事实上却不是这样的。这颗彗星于 1811 年 3 月 26 日由弗洛日尔格(Flaugergues)在维维耶发现，一直观测到 1812 年 8 月 17 日，经过了大约 17 个月之久。彗头的直径达到 180 万千米。在 10 月内彗尾长 1.6 亿千米，宽达 2 300 万千米。它的近日距是 1.035 天文单位，对于这样大的一颗彗星，近日距竟超过日地间的距离，这是相当长的。因为它在 17 个月内都能被人观测到，它走了一段相当长的弧，于是天文学家可以精确地测定它的轨道，了解到它的周期是 3 100 年，远日距达 420 天文单位，即太阳与海王星的距离的 14 倍，或者 630 亿千米。威廉·赫歇尔在这颗彗星上看出一团行星状的气体核，直径是 690 千米。用低倍率的目镜看这颗彗核像是一颗星，用高倍率的目镜看，却像一个星云状的圆轮，表面的亮度不匀。今天我们已经知道这种现象是因为一团看不见的球状固体核内的气体发射，这叫做晕，这晕的直径随它的相当小的膨胀速度的增加而变大。

1811 年的彗星除了使战争中的欧洲人恐怖之外，它还因那年所出产的酒特别好而著名。在葡萄牙酿成的一种红酒，便以"彗星酒"驰名于世界。此后，凡是好酒，不管是否在 1811 年，或者任何没有大彗星之年所酿造的，都叫做彗星酒了！

19 世纪里还出现了一颗很漂亮的彗星，便是 1858 年 6 月 2 日被多纳蒂在佛罗伦萨所发现的，到了 9 月和 10 月，肉眼也能看见(图 503)。10 月 10 日在过近日点以后 11 日，尾长达 64°，实长 8 800 万千米，它的尾部缩短得很快，12 月 6 日就完全不见了。在 10 月 3 日时彗核出现一条射线，10 月 5 日便有两条。这些射线很细而不弯曲，差不多和彗头附近的主尾相切，这两条射线差不多一样长。彗头里发生显著的变化。气体的包壳从彗核脱离，根据邦德的计算，速度很小，大约是每秒 13 米。这颗彗星的周期大约是 1950 年，远日距达 310 天文单位之远。1858 年 9 月 30 日过近日点，距离太阳只有 0.578 天文单位。

我们曾经看过彗星之长有超过 90°的(如 1264、1618Ⅱ、1680、1769、1861Ⅱ和哈雷彗星 1910Ⅱ)，因此它们的头部落在地平线以下的时候，彗星的末端还可高悬在天顶。

1861Ⅱ大彗星是被一位天文爱好者特布特(Tebbutt)在南威尔斯所发现的，时间是在 5 月 13 日，它是 6 月 12 日过近日点之前的一个月，它的近日距是 0.822 天文单位。这颗

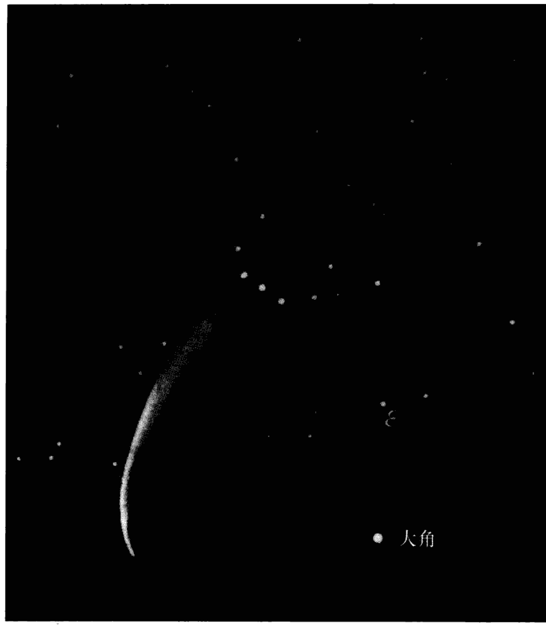



图 503　多纳蒂大彗星(1858 年 10 月 9 日，邦德观测)

彗星于6月30日的一个星期天，从南半球到北半球，忽然间引起整个欧洲的注意，它出现在夕阳刚西沉后的地平线上面。约翰·赫歇尔在他的科林伍德的家里看见了这颗彗星。它的光度比他所看过的 1811 年和 1858 年的大彗星还要明亮，差不多和金星最亮的时候一样。彗星指着北极星，长 30°、宽 5°，威廉士于 6 月 30 日看见它的尾部呈扇子的形状，有向旁边射出很远的光线。7 月 2 日，彗星变得很窄，它呈直线形，可以追踪到 72°那样长，在半夜观看，气象非常雄伟。用 15 厘米口径的反射镜和加上 96 倍放大率的目镜观测，彗头中心凝聚的部分有一团云状的核，直径约有 4″至 5″或者大约 500 千米，看上去很不像是固体的结构，没有看出恒星状的核点。过了不久，尾长竟达 118°！那时这颗彗星很接近地球，它的尾巴不过只有 6 800 万千米。因为它在北半球的位置极便于欧洲国家的观测，因此有了不少研究的结果。克罗莰所算的椭圆轨道，周期为 409 年，远日距是 109 天文单位。

20 世纪上半期出现的 6 颗彗星中的 5 颗，我们说过都发现于南半球。只有其中 2 颗，极光亮的时候才在欧洲各国被人看见，即是 1910Ⅰ和哈雷彗星 1910Ⅱ。

第一颗(1910Ⅰ)于 1 月 2 日在南半球被南非的德兰士瓦省的古星兰的钻石矿工在太阳附近发现，15 日的早晨日出前 20 分钟又被在科普杰斯的三个铁路工人发现。它的位置于 1 月 17 日首先被约翰内斯堡天文台的英尼斯(Innes)和沃塞耳(Worsell)所测定，因此它有约翰内斯堡彗星的名称。它是在那天离太阳 4°处过子午圈的时候被观测到的，它的光亮超过金星，那时金星距太阳 30°，同时这颗彗星差不多过近日点，距离太阳 0.129 天文单位，或者 1 030 万千米。1 月 18 日、19 日和 20 日也有人用阿尔及尔的子午仪观测到它。那时彗星指向太阳运行，从太阳的另一面作为昏星出现。自 21 日以后巴黎地区可以看见它。那时塞恩河水高涨，淹没了巴黎和它近郊的低地，所以这颗彗星又叫做“洪水彗星”，

有些人相信洪水是由彗星带来的。自1月21日以后弗拉马里翁和他的助手在他的天文台开始观测。它迅速地从黄昏的光辉里出来，1月29日他们观测到这颗彗星至少达45°，或者长1亿千米(图504)。它的照相图上表现出一条弯曲的主尾，边沿上要亮一些，中间稍微模糊，好像一个中空的抛物面，另外有一条较小、较暗像鸟冠那样的尾，和主尾成一个相当大的角度，还有一团很奇特的暗淡的云状物质，在太阳的方向那面套在彗头上面〔因为彗星有自己的运动，要追随着它，照相的时候，需精密地瞄准彗头中心密集的一点，才可拍得清晰的照片。视场里的星因在底片上的相反方向移动，所以留下拖影，这在本书的照片上可以看到。这些拖影的长短，随着露光时间的长短、星的速度和照相镜的焦距而有变化〕。彗星很快地暗淡。许多巴黎人都没有看见它，因为彗头很低，虽然彗星离垂直线有一点倾斜，可是需要地平线上没有障碍物才可以看见它，而且在1月里雾气弥漫，也使得观测困难。

根据默洛(Mello)算出的轨道，它是很长的椭圆，近日距只有0.129天文单位，远日距达5万天文单位，周期大约为290万年。



图504 大彗星(1910 I)

1910年1月29日18时19分至18时41分，主要的彗尾形似空心圆锥，边沿特别明亮，包裹彗核。

这颗彗星出现后4个月，有名的哈雷彗星于1909年9月11日被海德堡的沃尔夫寻得，只是16等的一团暗淡的星气。5月18日它靠近地球，相隔只有2400万千米。同时它达到轨道的降交点，差不多从日轮的中心处经过日面。这重要的现象，被人精确地计算和热心地期待着。是不是有人可以看见彗核像一个黑点投影在光明的日轮上并与水星和金星凌日的情况一样呢？很多天文工作者都预备好去做这个观测，除了塔什干一地说曾模糊地看见了彗星之外，观测者虽然极其注意地从望远镜里去观察，但没有一个人看到彗核和它透明的外壳的丝毫痕迹。

人们也期待着地球经过彗尾。如果彗尾是直线的，在由太阳到彗星的向径线上，或者稍微弯曲一点，彗尾是会达到地球的，因为彗尾长2500万至3000万千米，长度是足够的。科学界以极大的好奇心期待着将发生的事情。天文学家、气象学家和地球物理学家都准备去记录这罕有的现象。在巴黎5月18日到19日的夜晚天气很坏，那夜出现一阵暴风雨，使一



**图505　哈雷彗星**（1910Ⅱ）
金星在右下方，1910年5月13日拍摄。

切观测都不可能了。关于彗尾位置的研究，证明地球应于5月20日经过它的末端。19日早上彗尾长达145°，巴耳代于19日天亮以前的云隙里看见一线像从灯塔射出来的相当暗淡的光芒，既直且窄地出现在地平线上。彗头还没有升起，天一亮这景象便消逝了。核头呈现了复杂动荡的结构，且有晕光和鸟冠状的光芒，它曾被全球的天文学家仔细加以研究（图505）。

1947n即1947Ⅻ彗星于12月9日在南半球出现。因为发现它的人很多，所以没有给予专名。它的光亮约达1等，所以它的重要性仅次于哈雷彗星和1910Ⅰ。它的尾长25°（图506）。它同时离开太阳和地球，光亮变弱得很迅速，当它达到北半球的时候，肉眼已经看不见它了。

一年以后又有一个大彗星出现在南半球。也像前面一颗那样，因被许多人看见，故无专名，只记为1948Ⅰ，因为这是那年发现的第12颗彗星。这颗彗星于11月6日早上在澳洲首先被伍德（Wood）发现，6、7、8三日里许多人都看见了它，亮度估计是2等。彗尾至少



图506　南半球大彗星（1947Ⅻ）
1947年12月12日蒙得维的亚天文台拍摄，露光5分。

有 20°,约长 5 000 万千米。

根据初期的观测计算出来的轨道根数,人们觉察到这便是 11 月 1 日日全食的时候所看见的那颗彗星。真的,在全食的 4 分钟里,有许多人曾经在太阳附近看见一颗拖着长尾的明亮彗星。格林尼治天文台在内罗比(非洲的肯尼亚)的远征队有在全食带内 4 000 米高处的飞机上所拍的这颗彗星的照片。

在巴黎地区这颗彗星没有被人观测到。第一,因为它离地平线近,在 11 月里,地平线附近总是云雾弥漫;第二,它升起的时候已经快天亮了。到了 12 月初,因为它同时离开太阳与地球,已不能用肉眼看见了。在法国南方的两个天文台,因地位适宜,却拍下很美丽的照片。

把曾经发现的彗星数目按每个世纪列成一张表,然后去寻找一些结论,是一件有趣的事。下面的表Ⅲ是从上面所引用过的《彗星志》和《彗星轨道总表》内摘录下来的。

从这张表中可以看出有趣的几点:自公元开始以至 18 世纪,每 100 年所发现的彗星数目差不多是常数,不过只因明亮到引人注意的彗星有多寡不同,这数目才稍有出入而已。平均说来,在这 1 800 年间,每世纪发现的彗星数目是 47,即每两年有一颗。但自 19 世纪开始,彗星发现的数目便增加了。这是因为有了近代的三种办法:使用望远镜作系统的寻觅;从 1892 年开始,使用照相的方法;精确地计算周期彗星的归来。可是从 19 世纪后半期以来,发现新彗星的数目好像又呈稳定的现象。从 1851 年至 1900 年是 191 颗,从 1901 至 1950 年是 190 颗,平均每年 4 颗,比古代还没有使用望远镜和照相方法的时代约多 7 倍。这数字在不同的年内变化很大。例如 1938 年没有发现一颗新彗星,1947 年便有 10 颗之多。

这个一般的统计,引起我们提出下面的问题:“天空里究竟有多少彗星呢?”

开普勒回答说:“和海里的鱼一样多。”这句话也许有些夸大,事实上却也真不少。我们刚才说过,从 1851 年至 1950 年平均每年发现 4 颗,那么从公元开始计算就约有 8 000 颗了,但是,并不是在天空飘荡的彗星都已被我们发现。一般说来,我们所发现的只限于亮度达到 9 或 10 星等的。光度愈暗的彗星被人发现的机会愈少,而且被发现的机会减少得很快。近日点愈远的彗星,光度愈弱,我们愈难看见。所以我们所认识的彗星,近日点多在地球轨道的附近,近日距超过 2 个天文单位的就愈稀罕。离太阳最远的周期彗星只有施瓦斯曼-瓦赫曼(Schwassmann-Wachmann)(1)〔即 1925 (2)〕,它的轨道差不多是圆形的,在木、土两行星之间,它的近日距是 5.55 天文单位,近日距在 4.0 和 4.99 天文单位之间的有 5 颗,在 3.0 和 3.99 之间的有 6 颗,在 2.0 和 2.99 之间的有 36 颗。其余的 483

颗近日点都在 0.005 和 1.999 天文单位之间。

表Ⅲ 已经出现的彗星的统计

| 观测时间 | 观测过的彗星 | 回来过的周期彗星 | 其他的彗星 | 已经算过轨道的彗星 |
|---|---|---|---|---|
| 公元以前 | 137 | 6 | 131 | 6 |
| 1 世纪 | 26 | 1 | 25 | 1 |
| 2 世纪 | 39 | 1 | 38 | 1 |
| 3 世纪 | 43 | 2 | 41 | 2 |
| 4 世纪 | 30 | 1 | 29 | 1 |
| 5 世纪 | 33 | 1 | 32 | 1 |
| 6 世纪 | 47 | 1 | 46 | 3 |
| 7 世纪 | 42 | 2 | 40 | 2 |
| 8 世纪 | 25 | 1 | 24 | 2 |
| 9 世纪 | 52 | 1 | 51 | 2 |
| 10 世纪 | 42 | 2 | 40 | 3 |
| 11 世纪 | 61 | 1 | 60 | 3 |
| 12 世纪 | 52 | 1 | 51 | 2 |
| 13 世纪 | 47 | 1 | 46 | 5 |
| 14 世纪 | 53 | 3 | 50 | 6 |
| 15 世纪 | 64 | 2 | 62 | 10 |
| 16 世纪 | 76 | 2 | 74 | 13 |
| 17 世纪 | 38 | 4 | 34 | 22 |
| 18 世纪 | 77 | 7 | 70 | 62 |
| 19 世纪 1801—1850 | 102 | 27 | 78 | 92 |
| 19 世纪 1851—1900 | 250 | 72 | 178 | 249 |
| 20 世纪 1901—1950 | 299 | 139 | 158 | 271 |
| 20 世纪 1951—1973 | 229 | 118 | 111 | 199 |
| 总数 | 1 860 | 391 | 1 469 | 958 |

我们如果采取克朗林于 1929 所作的假设，把彗星的平均周期算作 4 万年，以每年有 4 颗彗星计算，总数便该是 16 万，这数字比实际一定还少得多，这数字已经给我们说明彗星比小行星多很多。也许只有散布在太阳系里的流星粒子才比彗星多些，以后我们还要谈到估计彗星数目的近代方法。



图 507　**布鲁克斯彗星**(1911Ⅴ)
10 月 28 日 4 时 15 分至 49 分，纤维式的光芒从彗核射出。

# 第三十七章

# 彗星的组织

我们刚才谈的关于彗星长期观测的历史，使我们对于彗星的运动和形态的认识，愈来愈加完善。但直到 19 世纪分光学发展以后，才能着手研究彗星的化学组织。

可是很久以来，人们就明白除了彗核以外，彗星是气体和稀疏的粒子所组成的，而且是在极度稀薄的状态之下。所以彗星像是范围庞大、绝对透明的物体。我们曾经多次看见 5 等至 12 等的星被彗头掩蔽，却没有使星光暗淡或者屈折。这一点古代人已经观察到了。亚里士多德引用德谟克利特的观测说，塞内克在他的《自然界的问题》里曾经说过：

"我们透过彗星如像透过薄云那样,可以看见星星。"1828 年 11 月 27 日斯特鲁维(F. G. W. Struve)观测恩克彗星的时候,看见它经过一颗 11 等星,起初他把这颗星误认做彗核,这颗星的光亮并没有因此变暗。可是这颗彗头在中心部分就有 50 万千米之厚。巴比内(Badinet)根据这个观测,从光度的观点,计算出彗头气体的密度,认为是空气密度的 $2\times10^{-17}$。这是高度的超真空,地球上的仪器所绝对不能办到的,所以巴比内把彗星叫做"看得见的虚空"。在他那时代这数字好像是不可能的。今天我们却承认这个数量级是完全可以接受的。云状彗核能让恒星的光通过是不稀罕的事,如果用近代的方法去观测这个现象,我们可以测得星光透过彗头最密的部分,甚至透过它的中心,也不会因此而变暗。巴耳代曾经几次使用默东天文台的大望远镜证明了这一事实。只有一次当沃尔夫研究博雷利彗星(1903Ⅳ)的照片时,查出一颗星的彗尾,在彗星后面稍微暗淡一点,但是仔细研究了照片以后,他才证明这仅是由于照相感光不同的关系而已。

天文学家从来没有测量到星光透过彗星的大气时发生丝毫的屈折,当一颗彗星在一群星前面走过的时候,我们测量这群星彼此之间的距离。如果组成彗星的气体密到能够使星光偏折的程度,这些测量到的距离就该发生变化,可是许多观测都没有说明有这样的事实,由此可以想象组成彗星的气体是怎样的稀薄。

彗星的总质量,包括由固体组成的核在内,实在很小。当一颗大彗星从一颗行星旁掠过的时候,它没有给这颗行星或卫星的运动以任何的摄动。勒克塞耳彗星(1770Ⅰ)于 1767 年 5 月和 1779 年夏季接近木星,相隔只有 60 万千米。1770 年 7 月 1 日它接近地球,相隔只有 244 万千米。木星和它的卫星、地球和月亮都没有受到丝毫骚扰。拉普拉斯根据计算推出这颗彗星的质量至少比地球质量的 1/5 000 还小。假使这颗彗星有地球那样大的质量,我们的行星便会改变它的路径,它就会走稍长一点的轨道,一年也会增长 2 时 47 分。还有 1861 彗星于 6 月 30 日曾经距离地球 44 万千米,地球和月亮准确地在那天早上 6 时穿过了它的尾巴,可是地球和月亮都丝毫没有受到它的摄动。我们可以根据所有的观测总结说,形成彗星的伟大结构的物质是异常微薄的,但是它的密度足以漫射日光,使我们借分光的方法可以查出来。

对于彗星光的偏振经阿拉戈在 1819Ⅱ、1835 和哈雷彗星三大彗星上做过观测,结果说明它们所发的光只有一小部分是偏振化了的。在以后出现的许多彗星上,这种偏振情况被证实而且加以测量,还观测出偏振在一夜里多寡的变化。1927 年 6 月 20 日和 21 日丹戎研究蓬斯-温内克彗星(1927Ⅶ),它和地球最近,掠地球而过。在它的相角变化得很厉害时,他查出这颗彗星的光的偏振度没有改变,总是 11%。今天我们知道这个特性是由

于下列事实，即彗星的偏振光主要是由于碳分子($C_2$)所发出的斯万光带，这些光带常存在于彗星的光谱内，分子散射的作用很小，远不如从前的人想象得那样厉害。

我们现在谈到彗星的光谱分析，被棱镜分解而来的彗星光谱里有明亮的光带，上面重合有相当暗淡的连续光谱。这连续光谱上具有太阳光谱的吸收线，说明彗星光的来源是由于它的气体和颗粒对于日光的漫射，愈接近彗核的光，其强度愈大。

明亮的带状光谱存在于彗星光里，说明彗星的气体发射具有光的某些特征。对它们的研究非常烦琐而困难，我们现在只知道其中的主要成分。研究它的困难性在于彗星光线的暗弱，彗星最明亮的时候，又太接近太阳，我们只能当太阳在地平线以下的短时间的昏光里去观测它，那时它的光又受大气吸收的影响而暗弱了。

彗星的分光研究可以分为三个时期，各有其特殊的进展，第一期包括 1864 年至 1881 年的光谱观测，都是用目视法来进行的。1864 年 8 月 5 日多纳蒂开始用肉眼去看滕珀尔(Tempel)Ⅱ彗星的光谱。第一次观测到一种没有意料到的现象：彗星的光经棱镜分解以后出现三条明亮的带状光谱，和金属所造成的明线相似，而不像反射的日光和白炽的固体粒子所发的连续光谱。对以后出现的彗星的观测，都证实了早期观测的正确性。1866 年 1 月 9 日哈金斯观测滕珀尔彗星(1866Ⅰ)时看见这种气体所发出的不连续光谱之外，还有一个暗淡的连续光谱，三条明亮的带状光谱，在以后所拍得的彗星光谱里都被人找到过，经哈金斯于 1868 年 6 月 23 日确认为斯万光谱，可以在许多含碳的火焰如蜡烛、碳弧等内以及在碳气里放电找到。根据带状光谱的近代理论，说明这是两个碳原子组成的中性碳分子($C_2$)所造成的。在彗星这样微薄的物质里有碳和碳氢化合物，实在是使人意料不到的事。这是一个惊人的发现。有些人还不同意，因为天文分光学那时还没有经过考验，可是不久终于得到科学界的一致公认。

第二期是彗星光谱的照相观测，自 1881 年 6 月 24 日开始。那时溴银乳胶的底片刚制造出来，哈金斯便用来记录 1881Ⅲ大彗星的光谱。露光 1 小时，他拍摄到这颗彗星的一个良好的光谱，那里面有紫区和紫外区从来没有研究过的新的明亮光带。这些带状光谱属于另外的碳光谱，名叫氰光谱，在碳弧光里容易看见，今天我们已经知道它是被一个碳原子(C)和一个氮原子(N)所组成的中性 CN 分子所造成的。这些带状光谱之外，还有在紫色极端、波长 4 050 埃附近的一些辐射，没有被人确认出来。由目视观测所发现的暗淡的连续光谱，拍在照片上，表示它是从太阳的反射光而来的夫琅和费吸收谱线。因此，用照相的方法我们又证明彗星里有含碳的气体，而且还发现了氮。虽然这些星光透过的气体是极端稀薄的，可是它们漫射日光的分量，仍然是不可忽略的。

第二期开始时遇到五颗明亮的彗星：1881Ⅲ、1881Ⅳ、1882Ⅰ、1882Ⅱ和1884Ⅰ，其中第一颗彗星的光经过仔细的分析。前四颗彗星很接近太阳，它们的光谱里出现钠的两条黄色的漂亮谱线。这两条谱线与地球上的钠的相同谱线的位移，使我们能测定彗星的视向速度，结果与由轨道根数所算出的完全相合。这样便确切地证明钠蒸汽是属于彗星的，而不是在空间里被彗星光经过而照亮的钠。

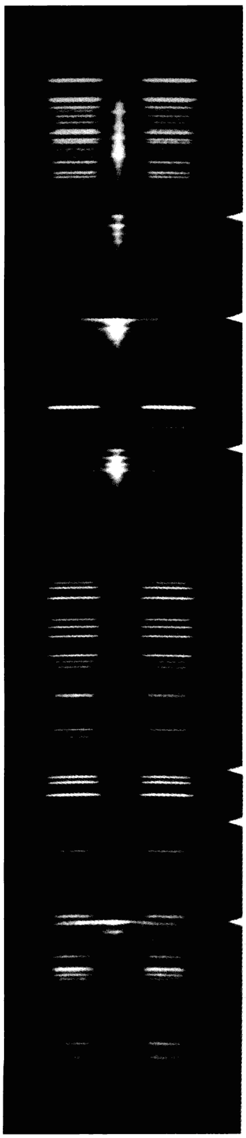



**图508 本田一贝纳斯科尼彗星**(1948g)
1948年6月6日法国南方天文台用有缝摄谱仪拍得的光谱。彗星的光谱，中间一条有 $C_2$、CN 等分子的谱带显然可见。两旁是铁弧和氖的光谱。

1882Ⅱ彗星过近日点的时候，有人在它的光谱里发现几条铁的谱线。既然彗核表面可能达到很高的温度，铁元素的出现自然是极有可能的。

第三期开始于1902年。普吕维内耳补充以上两种观测方法，开始使用短焦距很光亮的物端棱镜的方法。这是一种简化的、把装光缝的准直管取消后的摄谱仪，只有一个棱镜和照相的物镜。对着天空的时候，它就不会形成光缝的像去造出谱线，因为光缝已经没有了，而只有要研究的星的许多单色像。这仪器推进了对彗星组织的研究，它可以定出分子在彗星各区的部位，而且还可以记录那时还不明白的彗尾。第一张照片是在1902年10月24日拍摄的，对象是1902Ⅲ彗星。自1907年以后因有几颗大彗星，特别是莫尔豪斯(1908Ⅲ)彗星的出现，进展就加快了。观测是在弗拉马里翁天文台进行的，物端棱镜是由普吕维内耳和巴耳代装在赤道仪上的。

在6年间对于几颗彗星所拍摄的照片的比较，说明它们的光谱形态、明线光带的相对强度随彗星而不同，并且有时变化很大。当彗星愈接近太阳时，这情形也愈明显地表现出来。例如彗星快到近日点时，氰(CN)的光带比斯万光带($C_2$)就更亮些。这种方法更使我们知道彗星不同的部分发出不同的辐射。彗头具有 $C_2$ 和 CN 的分子，尾部就没有这些分子，而是被一氧化碳($CO^+$)和氮($N_2^+$)电离了的分子所组成的。在1947k彗星的尾巴上还确认了有二氧化碳($CO_2^+$)的电离分子。

在固体核周围有几百千米厚的气体，含有 CH 分子，特征光带在 4 313 埃，还有形成在 4 050 埃附近的一组光带的另外一种分子。这一组光带的强度是有很大变化的，起初有人认为它们是由三个原子组成的 $CH_2$，最近的研究表明形成这些光带的分子并不含氢。赫兹伯格（Herzberg）说明它是三个碳原子（$C_3$）所组成的（图 508）。这些年来，人们很重视对些复杂的结构和它们的形成的研究，在实验室里做了许多工作，因而对于彗星以及有这些光带的含碳星（光谱型是 N 的）的物理和化学问题做出了较大的贡献，同时也明了实验室里所观测到的一些反应。罗森（Rosen）于 1952 年在列日的讨论会上曾经说过："对在 4 050 埃附近的一段彗星光谱的确切解释，将为天体物理学带来一些看法，表明物理和化学的变化过程的机制是怎样的复杂。"

因使用石英和镀铝的反光镜作为光具组，使我们了解属于彗头的 OH 和 NH 分子的远紫外区域。

首先对但尼耳彗星（1907Ⅳ）的光谱加以研究，这光谱很弱。次年莫尔豪斯（Morehouse）彗星（1908Ⅲ）出现，它异常活跃的情况可于图 509、图 513～520 几幅图里看见，它的光谱无比的明晰和强浓。彗尾的单色像表现强弱相间的双重谱线（图 509），来源一向是不明的。英国物理学家福勒（Fowler）在实验室的照片上也寻找到同样的光谱，但也不明其来源。他系统地追索着，在含尽量微小的 CO 或 $CO_2$ 的空管内放电，复制出这些光带来。这些光带既暗淡又混杂有别的光带，很难加以研究。巴耳代在默东天文台重做这个实验，用从白热的阴极出来的电子去轰击空管里极度稀薄的碳氧气，制出相当亮的、色散度相当大的双重谱线，这些谱线和在莫尔豪斯彗星所拍得的一样。以后物理学家根据理论证明这些双重谱线的来源实在是电离的一氧化碳（$CO^+$）。在其他 3 个彗星里，彗尾表现电离氮分子（$N_2^+$）的特征光带。

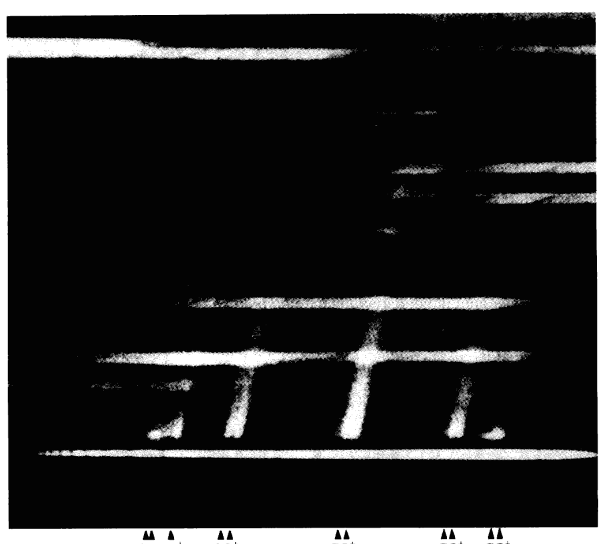



**图 509　莫尔豪斯彗星（1908Ⅲ）**

1908 年 10 月 18 日 18 时 48 分至 23 时 21 分用物端棱镜拍摄。彗星的光谱表现 $CO^+$ 电离分子的双谱带和电离氮（$N_2$）的单谱带。中性氮，表现在氰分子里，只在彗头不在彗尾里才可以看见。彗头的光谱暗淡。

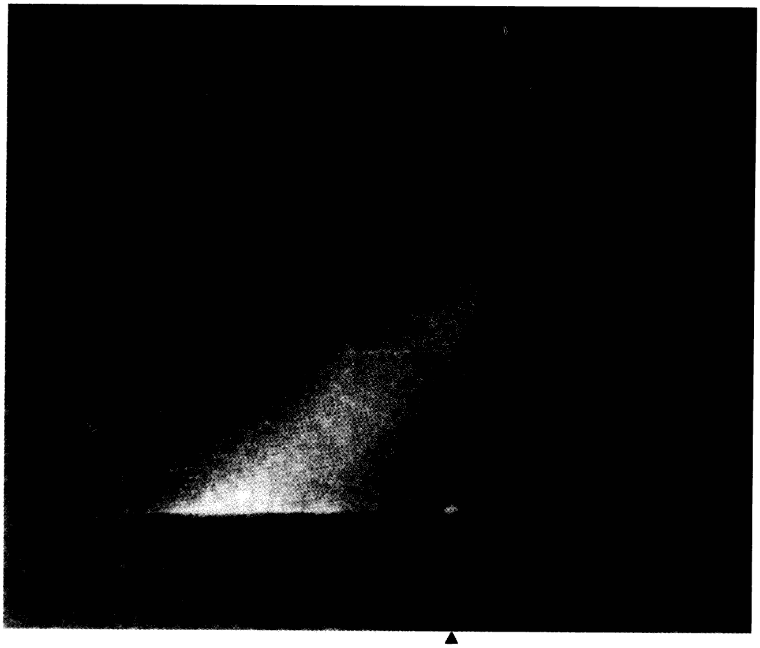
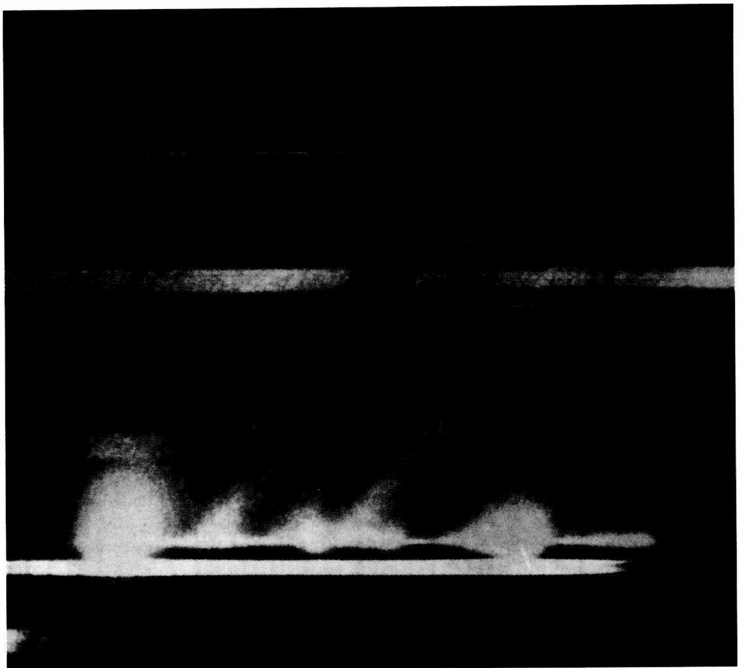



图 510　1910 I 大彗星
1910 年 1 月 29 日 18 时 19 分至 41 分，用物端棱镜拍摄的光谱。彗尾的光谱像是连续的（参看同时拍摄的图 504）。

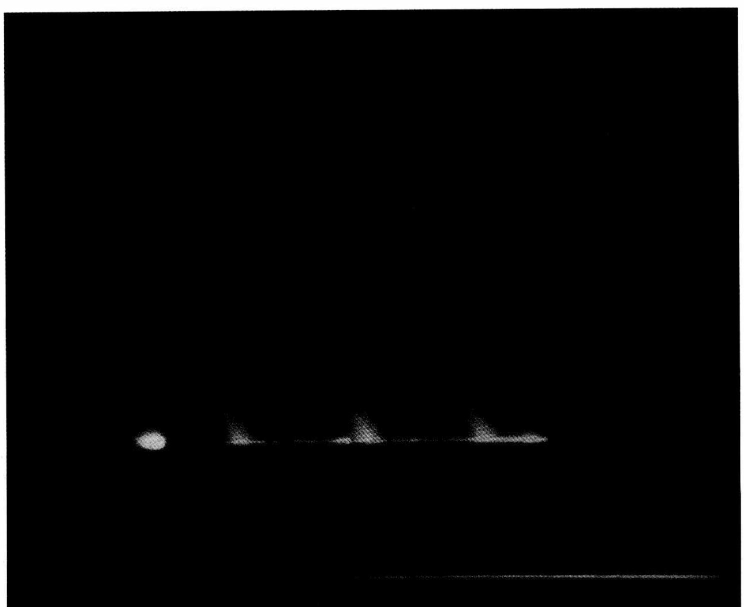
因此构成彗尾的是物质，因为组成彗尾的气体已经经过观测加以证认，没有可以怀疑的了。

奇怪的是，组成彗头的 CN 和 $C_2$，以及彗核周围的 CH 和 $C_3$，在彗尾里并没有找到，用物端棱镜所拍摄的彗尾光谱从来没有这些分子光谱的丝毫迹象。每次拍得的彗尾光谱，总是找到它的双重的 $CO^+$ 光带。我们已经说过 CN 和 $C_2$ 光带的强度，随着彗星与太阳的距离而有变化。当彗星接近焦点上的太阳时，它所接收的热和光按距离平方的比值反而增加。各系光带的强度（图 511、图 512）都发生变化，有时我们在彗核的光谱里发现钠的双重黄色 D 谱线。当哈雷彗星（1910 Ⅱ）距离太阳只有 0.7 天文单位时，我们就发现了这两条谱线。愈和太阳接近的时候，黄色的辐射就愈逐渐侵占了整个彗头，继后整个彗尾以至尾端都有这种辐射，这在 1910 Ⅰ 大彗星上是很明显的，因为彗星已经呈现出一种美丽的淡黄颜色。同时，CN 和 $C_2$ 光带减弱很多。一个明亮的连续光谱的发展，好像不完全属于日光的漫射，一部分可能是由于钠的荧光作用。



CN　$C_2$

**图 511　布鲁克斯彗星（1911V）**
1911 年 9 月 27 日自 19 时 43 分至 21 时 54 分用物端棱镜拍得的光谱。那时彗星距离太阳 0.85 天文单位。彗头的光谱（$C_2$、CN 等）达到最大的发展，彗尾的光谱（$CO^+$）出现。



CN　$C_2$

**图 512　布鲁克斯彗星（1911V）**
1911 年 11 月 1 日 4 时 37 分至 57 分，用物端棱镜所拍得的光谱。那时彗星距离太阳 0.50 天文单位（过近日点后 4 天）。图 511、图 512 表示彗星的光谱随彗星与太阳的距离而变化。

当彗星远离太阳的时候，发射光带逐渐变弱，以至消逝，一般只剩下由日光漫射而来的连续光谱。施瓦斯曼-瓦赫曼彗星(1)(1925Ⅱ)在木、土二行星之间沿近似圆圈的轨道运行，因此它的光谱没有发射光带而只有连续光谱，容易找出太阳光谱里的 G、H、K 等谱线。

在彗星的光谱里从来没有找到氢的谱线(如巴耳末系)，也没有找到气体星云、日冕或极光等的特征谱线。

总结一下，不再详述，我们在彗星里所发现的发射光谱是由以下这些分子所造成的：CN、$C_2$、CH、$CH^+$、NH、OH、$C_3$(作成 4 050 埃的一组谱带)、$CO^+$、$N_2^+$、$CO_2^+$、$NH_2$ 或者还有 $OH^+$。在碳分子($C_2$)的情形，还发现有同位素${}^{13}_{6}C$，这分子产生了三系光带：主要带(斯万光谱)是由寻常碳的双原子 ${}^{12}_{6}C{}^{12}_{6}C$ 所构成(最丰富，占 98.9%)，另外两个光带很弱，是由 ${}^{12}_{6}C{}^{13}_{6}C$ 和 ${}^{13}_{6}C{}^{13}_{6}C$ 所构成的。在任何彗星里没有发现过 ${}^{13}_{6}C{}^{14}_{7}N$ 分子，也没有重氢合成物的迹象。可见同位素在彗星里的作用并不很大。还有其他弱的辐射需待证认，无疑会表现出还不明白的光带系。所以组成彗星气体的原子，有碳、氢、氧、氮，更有钠、铁，也许还有铬、镍等金属，可是这些金属必须在彗星逼近太阳、彗核的温度升高的时候，始能察觉。

上面所举出的那些分子在化学上不尽稳定，而这些东西大部分在化学上都叫做基。由于日光的分解作用，将稳定的化学分子光解，这些分子不能直接观测到，因为它们是固体核的组成体，被彗核吸引住了。因此，彗星里可能有水($H_2O$)、氨($NH_3$)、甲烷($CH_4$)、氰($C_2N_2$)、氮($N_2$)、一氧化碳(CO)、碳酸气($CO_2$)等。在和彗星有密切关联的陨星里曾经发现几种这样的化合物。彗星里所以有化学上不稳定的分子，那是因为它们的密度异常小的缘故。原来本是稳定的分子，既经日光分离为基以后，它就差不多没有机会同别的分子碰撞而再行组合，因为它的平均自由程是几千千米的数量级。

因日光中很远的紫外区(短于 900 埃的)的作用，有些分子(如 CO 和 $N_2$)可以电离。光分解和光电离的复杂机制也许分几个阶段进行，或许还有由太阳发出的电子碰撞而生的电离。

组成彗星气体发射光带的激发是由于荧光作用，已经被斯温兹(Swings)和马克拉尔(Mckellar)所证明了。这种现象是由分析组成光带的谱线的强度而阐明的。一个分子所吸收的日光，因光的共振作用，又立刻发出同波长的光线。但是因为太阳的连续光谱里有浓度深浅不同的吸收谱线，于是在这些谱线的地方激发减少，彗星光带内谱线的强度分布便和太阳光谱里假使没有吸收线的情形是两样的。彗星对于太阳的视向速度，也使彗星

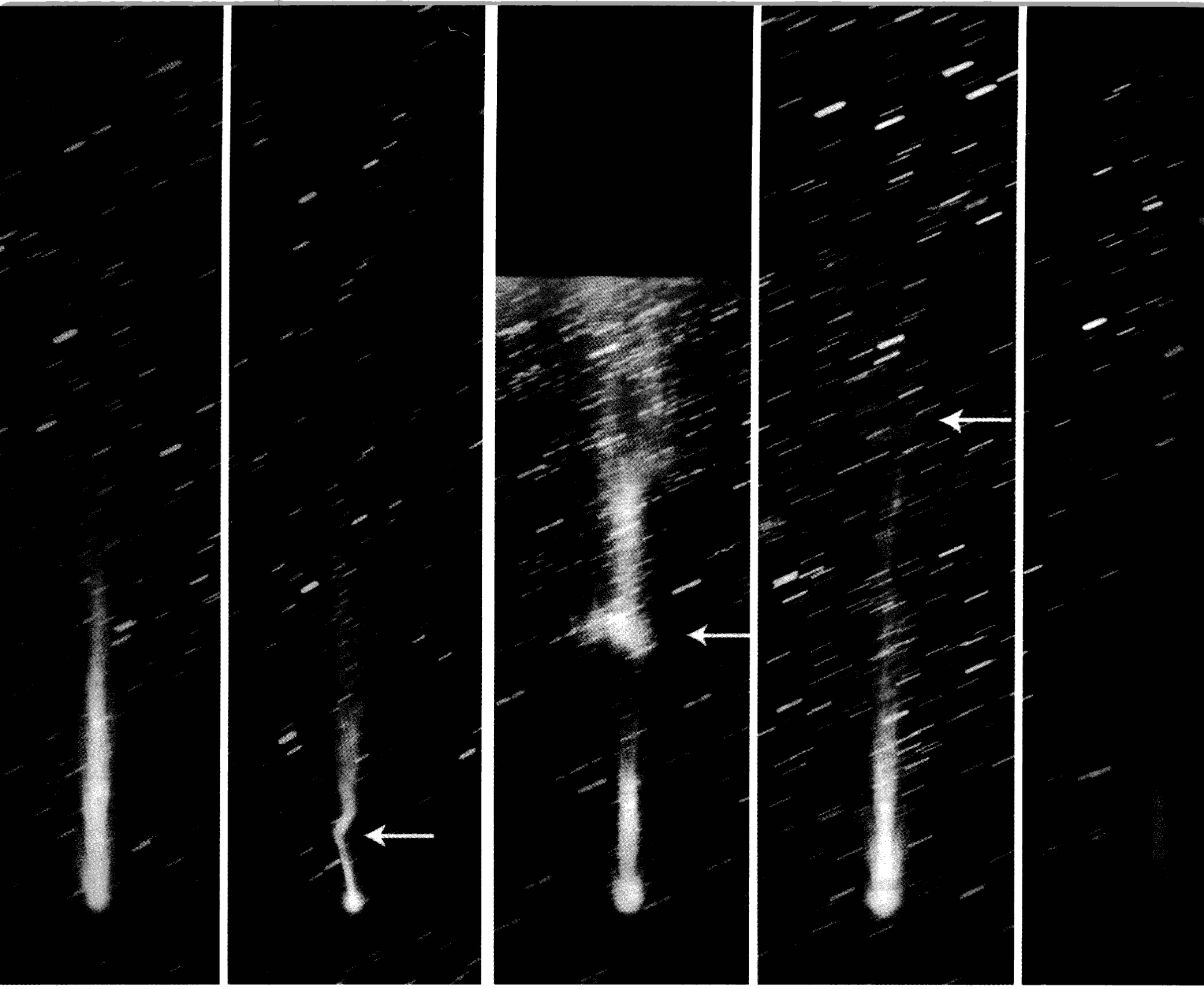
谱线在波长上发生位移。由这些因素便造成相当复杂的情况，可是把这些因素都除去了以后，可以说彗星所发出的光辉纯粹是一种荧光现象。

我们说过，日光被彗星的气体漫射是不可忽略的。这种漫射也是由于混在这些气体内的细微的固体质点所造成的。但是这种假设也不是绝对必须的，物理学家证明气体的分子或原子也能漫射光线，天空的蔚蓝颜色的来源，就是由于空气对于日光的漫射。查理·法布里(Fabry)曾经计算过彗星的漫射程度，和观测的结果比较，很是符合。在正常压力下，只需1毫米厚的一层空气，放在一个天文单位那样远处被太阳照着，迎面望去，在黑夜的天空上，就差不多同银河一样的明亮。不过这层空气展开到几千千米，仍然保持一样的光明，因为它只靠这里面的分子数目，并不因所占空间的大小而有变化。可是彗星里有微尘的假说仍然成立，因为它们的连续光谱里亮度的分布像太阳光谱里的情况，而不像被气体漫射的光线的情况。有关这个问题的研究仍需继续进行。

彗星在它漫长的路途中，光亮和体积都大有变化，而且每颗彗星各有它的特性。当彗星距离太阳很远的时候，它中心的核或多或少地像一颗恒星，周围有一团模糊暗淡的星云气。接近太阳的时候，光亮增加，常在过近日点以后达到最亮的程度。在这期间彗尾出现，向反背太阳的方面发展。在它离开的过程里，这些现象又沿相反的方向发展。当彗星接近太阳的期间，彗头时常会变小。对于恩克彗星这种现象特别显著。

彗星光度的测量方法很多，都以彗头为对象。彗核和彗发加在一起的亮度叫做总亮度。由于实际上的困难，彗尾的光度从来没有被人测量过。除了大彗星以外，一般说来彗尾比彗头暗淡得多。彗核亮度的测量数值，随所用的望远镜而有不同。我们说过，望远镜愈大，彗核就显得愈小，有时甚至完全看不见了。所以代表这亮度的数字是很相对的。

用目视法测量的时候，常将彗星的焦外像和附近的恒星比较，因为直接把片光源和点光源拿来比较，会导致很大的误差。观测时必须改变望远镜的焦距，使恒星的点状像展成片状像，亮度合适到足以与要测量的彗星的亮度加以比较。用照相法测量也和这样的目视法相似，还有别的方法，我们就不再详细叙述了。近几年来有人用光电管测量，求得的数值颇有差异，这不但是由于仪器上的差异，而且是因接光器灵敏度有所不同，肉眼、照相底片和光电管对于不同颜色的光线的灵敏度也是有差别的。所以要将这些测量的数值归算到同一尺度之下，必须测定归算的常数。总之，这种精准度是不高的。观测误差可达到1星等，有时还要大一些。即使加以各种校正之后，一次目视观测的平均误差的数量级是±0.3星等。



莫尔豪斯彗星(1908Ⅲ)　彗星云状物的移动

图 513　10 月 14 日 19 时 25 分至 20 时 53 分

图 514　10 月 15 日 20 时 20 分至 21 时 31 分

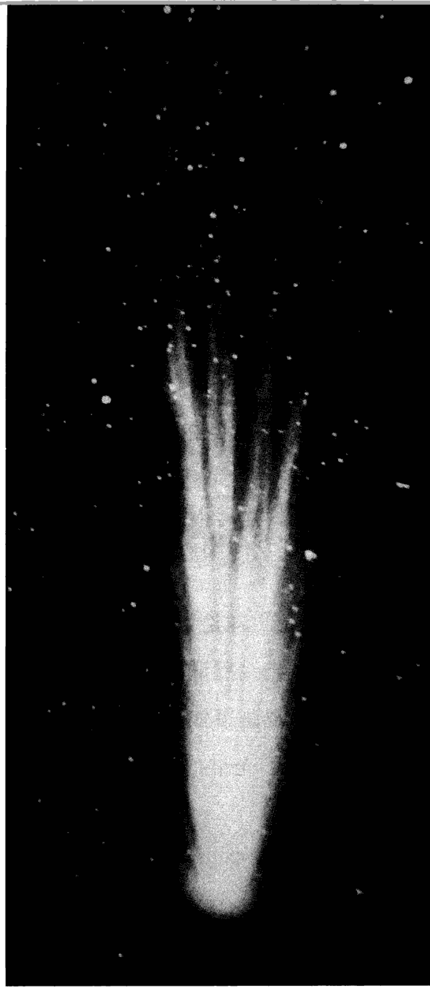
图 515　10 月 16 日 18 时 40 分至 20 时 50 分

图 516　10 月 17 日 22 时 2 分至 24 时 2 分

图 517　10 月 18 日 18 时 48 分至 20 时 19 分

即使彗星的亮度不改变,它的光线纯粹是日光的漫射,它的光度也会同它与地球的距离 $\Delta$ 和与太阳的距离 $r$ 的平方成反比的〔$I=I_0/\Delta^2 r^2$,$I_0$ 表示彗星距离太阳和地球都是 1 个天文单位($r=1$,$\Delta=1$)时所算出的亮度〕。但是它本身的亮度和它的大小都在改变。为了明了彗核的活动,了解光度的变化是重要的。这种变化可以以一个相当的经验公式来表示,即光度与彗星、地球间的距离的平方成反比,但与彗星、太阳间的距离的 $n$ 次方成反比〔$I=I_0/\Delta^2 r^n$〕,$n$ 这数字差不多常大于 2,要根据观测而决定。它的平均值大约是 4,有时可达到 10,可是有时又会是负数。一切的运算都做了以后,彗星的光度还表现出没预料到的、或多或少有周期性的起伏。除了这个经验公式之外,许多人企图找出一个具有物理意义的规律。例如苏联天文学家列文根据某些假设把彗核里气体的蒸发常数和彗星的亮度联系起来。由这一类规律所得的结果没有一个比经验公式更加精确的,所以在对现象的明了上,它们并没有多大的帮助。







莫尔豪斯彗星(1908Ⅲ)　彗头附近彗尾的结构与射出光芒的变化

图518　10月14日22时露光5分　　图519　10月29日22时7分露光5分　　图520　11月28日22时10分露光5分

目视观测的结果由珀肯斯天文台台长博布罗尼科夫(Bobrovnikoff)加以很好的讨论,得出以下几点结论:有些彗星亮度变化很大,即使它们和太阳的距离没有改变。例如施瓦斯曼-瓦赫曼(1)周期彗星在它的日心距没有显著变化的时期里,从19等变至9等,这表示亮度增加了1万倍。有时在两三小时内星等可增加5,即亮度可增加100倍。德国天文学家里希特尔(Richter)说明这种近似爆发的现象好像是和引起地上电磁扰乱的日面爆发有关系。反之,另外一些彗星的活动又异常之微弱,发射出的气体的性质随彗星而大有不同。也许这和它们的年龄有关系吧?有些彗星自发现以来已经回到近日点多次,如像哈雷彗星和恩克彗星发射气体的能力,一点也没有衰退,在这时期里,它们表面上可以蒸发分解的组织成分应该早已失落在空间了。可是别的彗星,在它们的日心距没有显著改变的期间,气体的发射便停止了。

可是,一颗短周期的、常回到近日点来的彗星,例如恩克彗星,应当在某一段时间内完

全失掉它所含的气体而消灭,这时间的长短虽然还不能够计算,但较之地质时期来说,应当是很短暂的,好像可能只有几千年。恩克小彗星自1786年被人发现以来,已经经过近日点51次,可是它的亮度还没有减弱。哈雷彗星自451年以来已经经过近日点20次,也有同样的情况。我们想要知道这些彗星的年龄和寿命,观测的时间还是太短,何况对于亮度的初期估计又不可靠呢?

彗星在其行程里拖着有气体的长尾,这些气体飘散到空间去,而又不断地得到补充,背着太阳的方向那一边总是像火车头后面的一缕蒸汽,形态变化无常,有时可分成几个彗尾,这一切现象都足以引起人们的幻想。对于这些现象解说之多,不能在此列举,因为它们都只有历史上的意义罢了。

上面已经说过这样的彗星形成的光学理论:即彗头像透镜一般折射日光,照明了这些折射光所经过的空间,犹如灯塔射出的光线照明它所穿过的空气,这样便形成了彗尾的形态,事实上并无真正的彗尾。在积累的观测事实面前,这种假设站不住脚,在19世纪里人们既认识了行星际的空间,又对彗星作了光谱的分析,肯定地证明彗尾是气体,因而是由物质组成的物体。

将彗尾当做是物质的构造去说明它的形状的理论,叫做力学理论(相对于光学理论来说)。这种理论的创始人是牛顿,他在他的名著《自然哲学的数学原理》中讨论了这两种理论的优缺点。他说明光学理论在解释彗尾的曲率上有很大的困难,至于力学理论说明日光斥力的作用,使彗头流出物质,这一结论却能使人满意。牛顿以后,奥伯斯对于1811 I彗星又提出斥力的问题。随着贝塞尔在他对于哈雷彗尾(1835)的有名研究里,更把这种理论推进了一步。贝塞尔假设彗尾的粒子先从彗头以某种指向太阳的速度逸出,演成严格的数学推论。粒子离开彗核以后,不再受它的影响而只受太阳的作用,太阳所给予这些粒子的,在引力之外还有一种斥力。这两种力皆随距离的平方成反比地减小,支配粒子运动的是这两种力的合力。斥力大于引力,因此粒子后退,在背着太阳的方向形成了彗尾。粒子在彗星轨道平面的附近各自按其轨道运行,粒子的整体形成所观测到的彗尾。根据彗星的曲率,我们可以算出太阳的斥力和粒子出发时所具有的速度和方向。

在贝塞尔之后有巴蒲(Pape)和温内克(Winnecke)的研究,他们将贝塞尔的方法应用于多纳蒂彗星(1858 VI),接着还有洛奇对于彗头的平衡形态的研究。

贝塞尔的方法经莫斯科天文台台长布列基兴(Brédichin)重新提出,加以发展并完成了它。布列基兴花了他一生中大部分的精力从事于彗尾的研究,搜集了很多资料,经亚格曼(Jaegermann)编纂发表在他的著作《彗星形态的力学研究》(圣彼得堡,1903)之中。我

们略述书中主要的结果如下：

布列基兴根据他所研究过的五十几颗彗星，认为彗尾可以分为三个类型；直尾的属Ⅰ类，稍弯曲的属Ⅱ类，很弯曲的属Ⅲ类。

平均斥力 $R$，以同距离处太阳的引力为单位表示，那即是说斥力为引力的 $R$ 倍。根据亚格曼的理论，这三类彗星的 $R$ 值列表如下，表内的 $g$ 代表粒子的初速度，单位是每秒若干千米。

| | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 |
|---|---|---|---|
| $R$ | 18 | 0.5 至 2.2 | 零至 0.3 |
| $g$ | 3 至 10 | 1 至 2 | 0.3 至 0.6 |

彗星必属于这三种类型里的一种，有时可以同时属于两类甚至三类，因为一颗彗星可能具有两三个曲率不同的彗尾。可见太阳的斥力不但随不同的彗星而变化，即使对于同一颗彗星也有变化。

布列基兴企图对各类型的彗尾找出物理的意义。他假设斥力的来源是具电性的，而且它的大小和组成彗尾的物质的分子量成反比。这些分子愈轻，彗尾也变得愈直。假设对于类型Ⅰ的彗尾，斥力是 18，而且假设它的组成物的分子量最小（氢），于是便可推出类型Ⅱ的彗尾的组成物是钠和碳氢结构，至于类型Ⅲ的彗尾，便是金属和较重的分子量的化合物所组成的了。

由光谱的观测证明彗尾里有电离的氧化碳。我们也看见在各类型的彗星里也有钠。于是布列基兴放弃三类彗尾各有不同分子量的物质的假设。对于愈直的彗尾，斥力的强度愈难测定。施与类型Ⅰ的彗尾的斥力是 18，是根据 1811 年大彗星的彗尾求出的，他对于另一彗星，求得 $R$ 为 36。

第一类彗尾和其他两类容易区分，其他两类的区分却不易判断。

照片上表现出彗尾的结构，更使问题愈加复杂化了。总之，布列基兴的工作是有价值的，因为他证明贝塞尔的研究方法是有效果的，而且布列基兴在莫斯科天文台的继承人，如奥尔洛夫（M. S. Orlov）适当地利用这种理论作为基础去解释许多重要的现象。

我们说过照相法表现许多别的现象，也和力学理论发生联系。例如云状物的形成，通常这些东西从彗核出来，在太阳的斥力下，进入彗尾，膨胀变形，有时可以扩散到彗尾的尖端（图 513～517）。科夫（Kopff）对于几颗彗星所求得的 $R$ 的数值如下：对于斯威夫特彗星（1892Ⅰ）内的几个云 $R$ 为 35、39 或 71；博雷里彗星（1903Ⅳ），$R$ 为 90；莫尔豪斯彗星（1908Ⅲ），对于尾上同一云的几部分，$R$ 为 62、72、88、162、151 或 156；哈雷彗星

(1910Ⅱ),对于彗尾的同一云里 $R$ 为 194 或 70。

博布罗尼科夫在他对于哈雷彗星的研究报告里,所求得的斥力,变化之大由 23 至 2 300。他对于 1907Ⅳ彗星的研究求得斥力逐日发生变化,前后相差至 19 倍之多。别的彗星也表现斥力有这样整倍的差异的情况,这在莫尔豪斯彗星(1908Ⅲ)上表现尤为显著,由 1908 年 10 月 15 日至 17 日的观测,得知其尾上一片大云的各部分所受斥力有 6 个不同的数值,已如上文所述。博布罗尼科夫说明这一片云的各部分以很不相同的加速度在移动。从彗星驱逐出来的物质,同时受太阳的斥力,像是具有不同的数值。巴耳代在弗拉马里翁天文台所拍得的光谱,说明这一片云完全是由 $CO^{+}$ 和 $N^{+2}$ 混合在一起的物质所构成的。这片云的组成既然相同,所受的加速度又有那样大的差别,这就成了一个难于解决的问题。

由近年来对彗星所拍得的大量照片以及对于古代大彗星的目视观测的修正,说明力学理论不足以解释一切现象,还有别的力量必须加进来。

博布罗尼科夫曾经指出以下几点〔见《天体物理学论文集》(*Astrophysics*,1951),彗星一章,327 页〕:(1) 观测到的彗核不单是彗星的活动区域,发射物质的活动中心常有几个。(2) 凝团物质以及个别质点的运动不能仅根据最初情形来作解释,即不能仅根据质点被彗核射出的时间、速度对于向径(太阳和彗核的连线)的方向和斥力 $R$ 来作解释。运动中带电的质点所形成的云不能看做是不动的。事实上被人观测到的凝团物质的形态、光亮均有变化,而且常有射出的气流,在无结构的背景上常有凝聚物的形成等等。(3) 斥力可能达到同距离处的万有引力的 2 万倍,这样大的数值是由包壳和射线的结构以及凝聚物的运动求得的,而且很是相合。(4) 斥力常发生骤变。彗尾内凝聚物的运动不是相当有规律的,不是可以被一个轨道所代表的。它好像是有几个轨道,每一个受到一种斥力。在这一点上,它好像日珥的运动,可是我们却没有观测到趋向彗核运动的凝聚物。(5) 根据计算而得的彗核附近的喷射速度和观测到的速度是不相吻合的。由很大的斥力所算出的喷射速度达到每秒 70 千米,从光谱所求得的视向速度所推得的喷射速度只有每秒 1 千米的数量级。(6) 关于形态、光亮和颜色都观测到有周期性的变化。彗尾的波形结构是常见现象,在一些情形里可以解释为发射气流的颤动。(7) 彗核本体有时还要把上次核作用于已射出的物质,使得初始情形的计算更加复杂。事实上运动中的质点彼此间也起作用,由第Ⅰ类型的彗尾里射线的形态,表明那里的质点之间是有相互的斥力的(图 518~520)。由以上七点看来,这一切现象是多么复杂呀!

我们刚才谈到的、作用在彗尾上由太阳而来的斥力,究竟是怎样一种力量?这问题很

早就有人提出，而且也有许多答案。但是只有等到理论物理进一步发展、日光施于物体的作用发现以后，才得到满意的解答。

我们现在大致说明一下辐射压这个现象，一束光线射在物体上面，它在入射方向上有一种压力。这压力按光的强度增加，也随这物体垂直于光的面积而成正比例。在许多情形下，这种辐射压实际上是薄弱到可以忽略的。一个完全反光的物体放在大气之外的日光里，在1平方米的面积上所受的压力才有0.001克的力，由此可以想象其渺小的程度。对于完全吸光的物体，这数字还要减小一半。所以太阳系里的一切物体从太阳受到两个相反的力量，都是和距离的平方成反比例的，这两种力量即是万有引力和日光的斥力。对于大一点的物体，斥力相对于引力常可忽略。但是如果物体的范围很小，辐射压终于可以胜过万有引力。事实上如果将一个物体缩小，体积按长度的立方、但面积却按长度的平方而变小，因此面积和体积之比例按长度的反比而变化。当物体在太阳的作用下时，我们可以想象它分为无数的小质点。小到使辐射压等于万有引力。可见将物体缩小，辐射压便胜过了引力。

根据计算，像水那样密的物体，只要它质点的直径等于1微米，这斥、引两力便得到平衡。如果质点还要小一些，辐射压便超过了万有引力，微小的质点便会受日光的推斥作用。如果将质点的体积再缩小，便发生衍射现象，使我们所讨论的现象又改变了。史瓦西耳德计算了直径为0.2微米（密度为1）的质点，最大的斥力可等于引力的18倍。可是如果质点再缩小，斥力便迅速地变小，在它还没有达到气体分子那样小的时候，斥力已经早变为零了。德拜(Debye)为了解释辐射在气体上的压力，于1909年又讨论了这个问题，将组成质点的带电常数和吸收系数通通计算进去，他说明在某些情形下，质点纵然很小，还会受光压作用的。巴德和泡利(Pauli)更进一步，为了应用于分子的实际情形并深入地讨论了这个问题，引入选择吸收和一种辐射的再发射，求得辐射压等于气体内的引力的100倍。1927年翁索耳(Unsöld)将这数字缩小到它的1/4。可见由理论所推出的数字和由观测得来的数字是不大吻合的。还有人想引入另外一些力量，如核的斥力、电磁场、释放能量的分离现象。在彗尾里所观测的现象，如射线和我们测量的云，是不是运动中的物质，我们还不能确定。在彗尾里生成而移动着的一种光辉，如像地上高层大气里的极光那样，不是没有可能的。总之，彗尾内的现象还很神秘，要得到一种满意的解释还需先做许多工作（图521～533）。

彗星从哪里来的呢？它们的起源是怎样的？对于这些问题，我们还没有确定的答案。但是我们可以研究一下曾经提出来的假设，看它们和观测结果吻合到什么程度。







莫尔豪斯彗星(1908Ⅲ)

**图 521** 1908 年 10 月 13 日 18 时 59 分至 20 时 11 分。 主要的彗尾距彗头不远，扩大成两个分支。 一个小尾在大尾的右边形成。

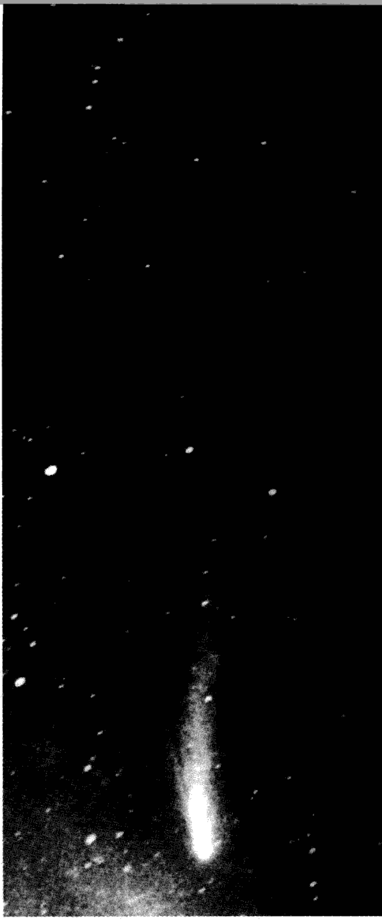
**图 522** 1908 年 10 月 23 日 22 时 20 分，露光 5 分。 这是从彗头分为许多彗尾的很美的典型(默东天文台口径 1 米的望远镜拍摄)。

**图 523** 1908 年 10 月 31 日 18 时 12 分至 19 时 46 分。 彗尾最明亮的部分成波浪形。

上面说过凡是走椭圆轨道的彗星属于太阳系，另外 67 颗走双曲线轨道的彗星，偏心率都很近于 1。如果将行星摄动的影响计算进去，我们就发现这些彗星在接近大行星以前所走的轨道常是椭圆的。至于抛物线的轨道，我们应该把它们当做是很长的椭圆，其偏心率测定为很近于 1 而已。因为没有走双曲线的轨道的彗星，说明我们所算过轨道的彗星都是属于太阳系的。拉普拉斯假设彗星是从星际空间来的，但是他那个时代太阳在空间里的运动还不知道。正如斯特龙根所说的，他所得的结果，对于他那个世纪内(在这期间彗星的轨道始被人精确地测定)的周期彗星，是相当准确的，但是不能确定它在 100 万年以前的情况。可是有一点是确定的，即彗星都属于太阳系，所以彗星的来源应当在太阳系里去寻找。

范沃尔康(Van Woerkom)和奥尔特(Oort)最近的研究即建立在这种基础之上。根据椭圆轨道的范围的统计，他们断定最初彗星距离太阳在 5 万到 20 万天文单位之间。可是





莫尔豪斯彗星（1908Ⅲ）

图 524　1908 年 11 月 27 日 17 时 42 分至 19 时 25 分。 彗尾里形成许多星云气。

图 525　1908 年 11 月 28 日 17 时 50 分至 19 时 14 分。 从上一天起星云气离开彗头愈远，愈是弥散。

图 526　1908 年 11 月 29 日 17 时 47 分至 19 时 8 分。 以上两图里的星云气消逝。 彗尾弯曲，又出现一些新的云气。

最近的恒星距离太阳却有 30 万天文单位。这些彗星所走的轨道差不多是圆形的，绝不会自动地接近太阳。奥尔特把它们叫做**原始彗星**。他用统计法计算了近邻恒星的摄动对于这些遥远彗星的影响，求得距离太阳在 10 万天文单位的彗星，于 30 亿年间，即自有太阳系以来，其中一半均已逃逸。至于距离太阳在 20 万天文单位的彗星差不多全部都走光了。在距离太阳 15 万到 20 万天文单位的彗星现在还存在于太阳系里的为数很少。于是奥尔特假设太阳周围有一圈彗星聚集成的云，一直延展到距离太阳 15 万天文单位那样远处。这些彗星当中有少数可以来到我们的附近，其他的轨道并不椭长，绝不会来到地球的附近。大约只有十万分之一我们能够看见，根据一个世纪里所寻得的彗星的数目，奥尔特推出组成这一云圈的彗星的数量应当是 1 000 亿。可是它们的总质量还不及地球质量的 1/10。

彗星怎样形成是一个更难解决的问题，因为要解决这问题，必须对固体彗核的组成与结构以及从那里发出去的或多或少的气体，都得预先有一些认识。





布鲁克斯彗星(1911Ⅴ)

**图 527　1911 年 9 月 25 日 19 时 56 分至 21 时 56 分，彗头几乎成圆形，彗尾是直线的。**

**图 528　1911 年 11 月 1 日 4 时 37 分至 57 分。双尾有相同的化学结构：$CO^{+}$。**

上面说过，在良好情况下，用大型望远镜观测，在彗核里只能看出一粒没有视径的星点，有时甚至这一点也看不见。

事实上有一种具有几颗核的彗星，有时可以像比拉彗星那样分裂为二，然后失踪演成美丽的流星雨的现象，这像是彗核是由大小不同的块状物所组成的，在某些情况下，它们可以分解，各走独立的轨道。

天文学家常假设彗核是由受牛顿引力联系在一起的粒子云所组成的，他们仔细地研究需建立起这样集团的稳定条件，表示为粒子的质量、它们相互间的平均距离和与太阳的距离三者之间的函数。彗核的这种模型，是便于数学的计算而想出的，由这里可以了解在什么情况下，彗核可以发生崩溃。但是彗核周围所表现的现象，如喷射的光芒、膨胀的气体晕等，还牵涉到另外的力量，如气体的压力、斥力的合力、电磁力等，我们还没有把电磁





芬斯勒(Finsler)彗星(1937Ⅴ)

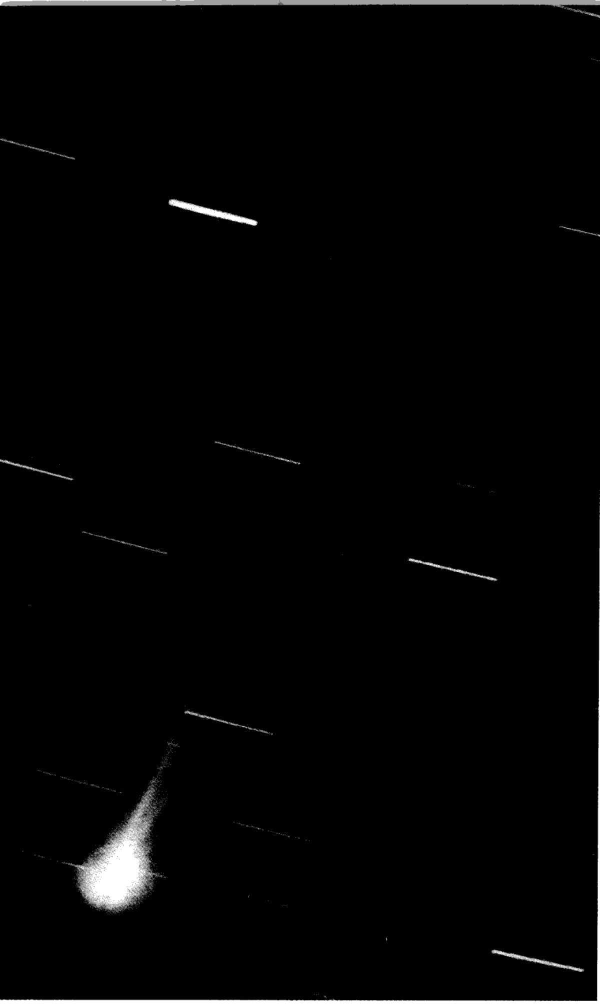
**图 529　1937 年 8 月 2 日 21 时 22 分至 22 时 22 分，两个细长的尾从圆形彗头发出，大的尾分叉为两支。**

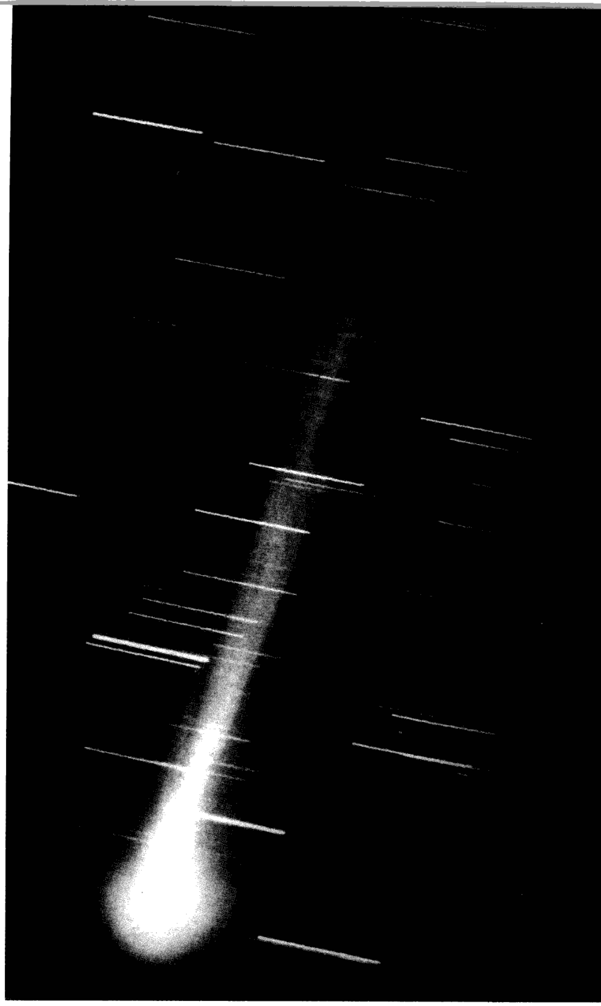
**图 530　1937 年 8 月 3 日 21 时 4 分至 22 时 5 分，一团云出现在彗尾里。**

力计算进去，但是由于有些彗核的极端活跃性，这种力量可能是很重要的。

彗核的另一种模型，便是一颗主要的固体核心，伴有(或没有)粒子。这个简单的形式，从一个中心发出气体，自然很是稳定。天体物理学家赞成这一种模型，因为在照片上表现彗核是许多现象的中心。但是要把它用来解释一些长时间的现象，如发出大量气体的可能性以及它实际的分裂和崩溃成为粒子等现象，实在是有困难的。

如果我们采取这一个假设，并且用光度法去测量彗核的大小，事实上当彗星接近地球的时候，这样测定的数值实在很小。蓬斯-温内克(Pons-Winnecke)周期彗星(1927Ⅶ)于 1927 年 6 月 27 日距离地球 580 万千米，施瓦斯曼-瓦赫曼(3)彗星(1930Ⅵ)于 1930 年 5 月 30 日距离地球 845 万千米。还有勒克塞耳(Lexell)彗星(1770Ⅰ)于 1770 年 7 月 1 日距离地球近达 240 万千米。巴耳代用默东天文台 83 厘米口径的大望远镜观测前两颗彗星，每颗





芬斯勒彗星(1937Ⅴ)

**图 531　1937 年 8 月 8 日 21 时 35 分至 23 时 5 分，显现多条直线式的彗尾。**

**图 532　1937 年 8 月 10 日 22 时 0 分至 24 时 0 分，彗头向右伸长。**

的核都像一个小光点，根据光度的结果，在这两个情形下，直径都约为 400 米。哈雷彗星于 1910 年 5 月 19 日过太阳表面，那时距离地球 2 400 万千米。没有彗核的丝毫痕迹出现于太阳表面上。如果有一个直径长 16 千米的核在日轮上便会显现成一个小小的黑点。这数值好像很小，但是有它两三倍大的东西，便可用肉眼看得见了。

1949 年哈佛天文台的惠普尔教授又提出另外一种彗核的模型。它是产生行星的星云物质。星际空间里最常见的分子如水($H_2O$)、氨($NH_3$)、甲烷($CH_4$)、碳酸气($CO_2$)、一氧化碳($CO$)、氰($C_2N_2$)等将于长时间里汇聚在虽小而不可忽略的物质周围，在远离太阳的极度低温下产生凝固的气体。在这种过程中，陨星和宇宙尘埃将增加在这凝聚的核上，这样形成的历程很慢，而且只能发生在离太阳很远的空间里。彗星的绝大部分时间都在远处度过，这样的轨道距离太阳很远，周期的数量当以 100 万年计算，这是和奥尔特的假设相合之处。

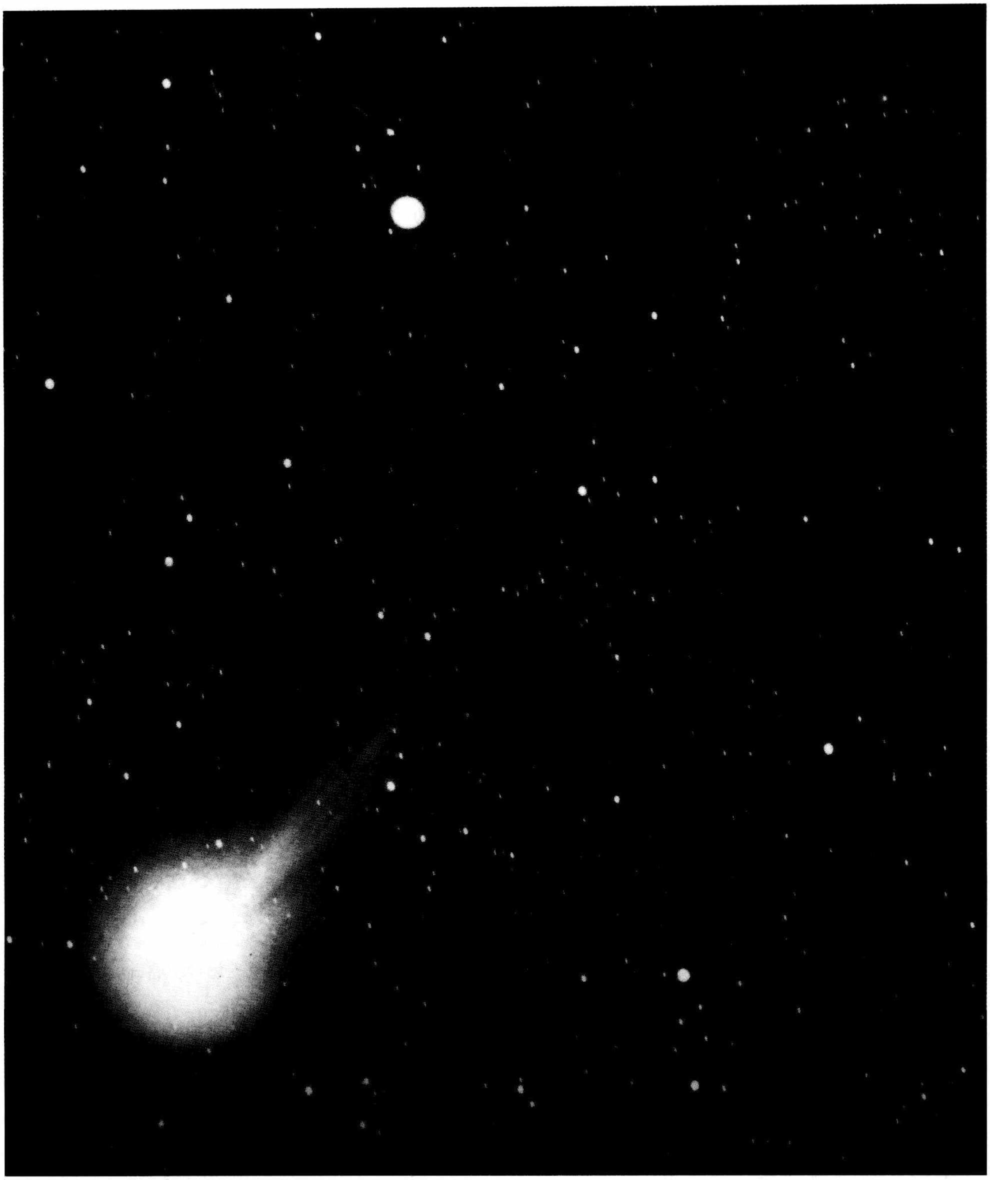


**图 533　惠普尔-费克彗星**(1943 I)

1943 年 2 月 26 日 22 时 17 分至 23 时 17 分,从圆形的彗头伸出细的彗星,然后分开成纤维形象。

彗星接近太阳的时候，彗核的表面生热，热量因传导逐渐达到下面的层次。表面的物质升华，造成形成彗发和彗尾的气体。光分解和电离的作用将原来本是稳定的分子变成中性的或电离的基〔化合物当中的一个单元，叫做基，也叫“根”，主要指原子团，也包括单原子离子，如 $Ca^{++}$、$Cl^{-}$ 等。——译者注〕。彗星愈是接近太阳，升华作用愈加迅速。彗头变大，彗尾变长，陨星和微尘逐渐分离，形成伴着彗核的一群流星。如果地球穿过这种彗星的轨道，我们就会碰着这一群流星，于是就看见一阵流星雨。像这样的短周期彗星时常到太阳的附近来，它的核因构造不均匀，可能破裂，甚至完全解体。彗星从此消灭，剩余的只是一群流星体，如像我们在比拉彗星所看见的那样。这一群流星体也会逐渐离散。有人还以为这些破片会产生黄道光，我们以后还要谈到这一点。

彗核好像也有绕着本体自转的运动，也像小行星那样，自转周期只有几小时。彗尾上的云和射线周期地发射光线，正说明这一事实。因彗核有自转和热量在彗核各层传导需要时间的缘故，这种发射是非对称的。如果发射有相当大的强度，在彗核上发放的气体起反作用（如像火箭那样），会给予彗核一个和它自转的方向相同或者相反的小速度。效果虽然很微小，但对于彗星在它轨道上的运动能产生一种加速度或者减速度。于是不需要假设阻力的环境，就可对恩克彗星的加速现象得到合理的说明，也可以同时说明达雷斯特(d'Arrest)彗星速度的减小。惠普尔计算的结果和观测是很符合的。

短周期彗星不能恢复它所失去的分子，因为它的距离是和太阳相当接近的。所以短周期彗星逐渐损失质量，而迟早归于无。在恩克彗星的情形，每一周期里（3.3 年）损失前一周期质量的 1/500。所以它还需公转 1 500 周，光亮才会微弱一些。有人估计，它将存在到 21 世纪。

惠普尔的凝冻彗核模型虽然是假设的，但是对于彗星所表现出来的各种现象，却有一个简单合理的解释，可算是现在对于彗星一切假设当中最使人满意的一个。

我们不必详细解说彗星是从木星的火山喷射出来的理论。因为喷射的初速度便会达到至少每秒 600 千米，这是完全不可能的。又有人假想彗星是由流星体和小行星碰撞而产生的。这种碰撞是可能有的，但是它们不会有这么多的次数和达到这么强烈的程度，足以产生像现在太阳系里这样多的彗星。

奥尔特假想在小行星的区域里从前有一颗行星。不知什么原因这颗行星分裂成为无数的碎片，而产生彗星、流星体和小行星。木星的摄动把这些碎片的一部分推斥到远处而成彗星。这个假设使我们明白为什么距离太阳遥远处有流星体，在那上面会形成惠普尔所假设的凝冻物体。

一般人时常害怕彗星和地球碰撞。关于这个问题有许多怪诞的想象，如两极发生很大的移动，一直达到赤道，月亮被拖走，使地球远离太阳，掀起可怕的潮汐，全世界发生洪水等等。但因彗星质量很微小，这一切灾祸的发生都是不可能的。

事实上这样的碰撞有迥然不同的两种，即地球穿过形成彗发和彗尾的极度稀薄的气体，以及与彗核相碰撞。对于第一种情形，我们完全不警觉地就过去了，可能有些含氰(CN)基和一氧化碳的分子进入我们的高层大气，但是比起我们大城市里炉灶、工厂和车辆每天所喷射出来的分量，更稀少到不足为害的程度。

毫无疑问，地球和彗核碰撞不能没有损害，因为地球的质量很大，自然不会整个地球，只有碰撞着的小区域里才有损害。如果彗核是有间隔的小流星体的集团，则我们所遇见的将是一阵美丽的流星雨或者一群火流星。但是如果彗核是一团直径大约是 1 千米的刚体，那就会酿成相当严重的损害。如像 1908 年在西伯利亚坠落的陨星，虽然不及这样大，可是空气的压缩使坠落的陨星白热化，它落地时发生强烈的爆炸，造成一个巨大的坑穴，比美国亚利桑那的陨星坑还要大，在大于 100 千米的范围里都遭到毁坏。幸而这样的碰撞对于整个地球来说，可能性是很小的，对于有人居住的地方来说，可能性更是小得多了。在几百万年里也许发生一次这样大的陨星坠落。所以我们可以安然地生活，不必为这样极其罕有的现象而担心！

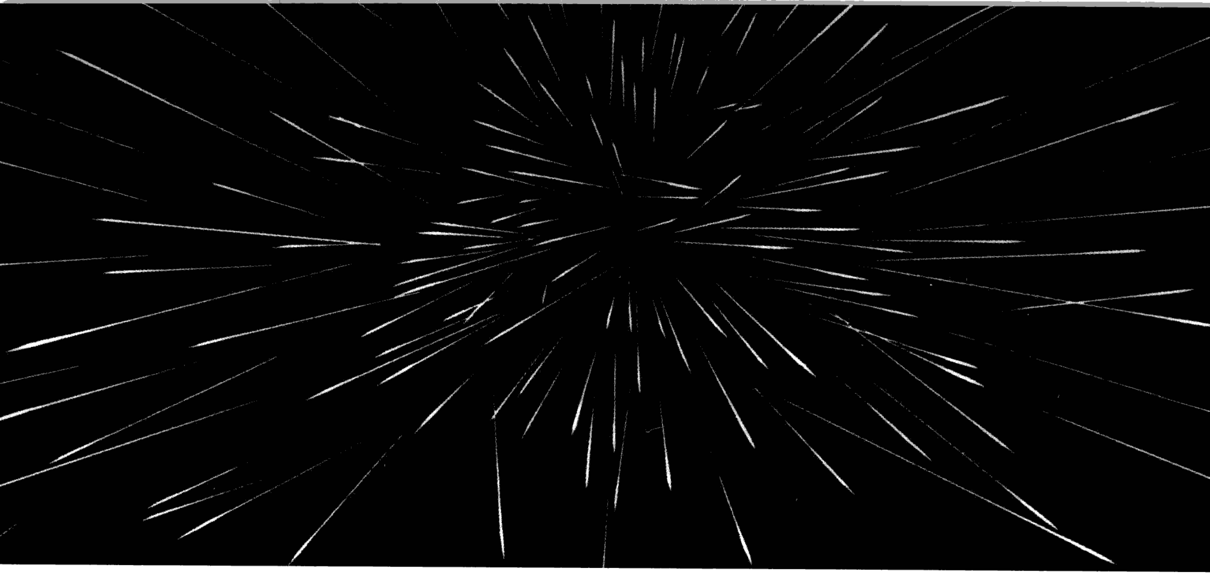


图 534　**流星的辐射点**

1872 年 11 月 27 日仙女座流星群的辐射点，这一群流星是由比拉彗星分裂而来的。

## 第三十八章

# 流星与陨星

**流星**　在澄静明朗的夜里，一颗遥远的星好像离开了天空，沉默地在苍穹下流动，而后消逝。世间受尽折磨的人们，以为上天是管理人事的，一颗流星代表一个灵魂，正由下界飞向另外一个世界；怀春的少女们望着流星，心中涌现了一片思念，并且祈祷上天早日成全她们的心愿；诗人看见流星，以为天庭里的花朵正在开放，灿烂的花瓣正被上界的风吹向无限的空间；唯有天文学家才明白这颗转眼消逝的星星，既不是星宿，也不是灵魂，而是宇宙里一粒尘埃，一粒小小的物质。如果它能告诉我们它从哪里来，在途中怎样和地球相遇，那就会给我们带来很多宇宙的消息了。

流星的出现是很寻常的事，没有一个读者不曾看见过几次。也许还有人看见过比流星更为罕见的另一种惊人的现象：一团冒烟的火球迅速地掠过上空，散播着火星般的光焰，拖曳着一条光明的长尾，有时像一颗爆竹那样爆炸，随着就有雷鸣炮击般隆隆震耳的声音，这就是一颗火流星殒灭的壮观。也许还有人更幸运地偶然拾得这火流星的一块碎

片，人们把这碎片叫做陨星或者天上落下来的矿物。

流星、火流星、陨星、天落石等的意义都不确定，容易发生混淆，随不同的作者甚至同一作者在不同的情况下，有时用来指天空一闪而过的光线，有时又指由这现象而来的物体。

我们采用了流星、陨星和流星体三个名词。所谓陨星就是从空间降落到地上的固体，重量的差异的范围可从极轻微的尘埃直到还不足以和小行星相比的那些沉重的石块。可是在这两者之间并无明确的界限，因为在最大的陨星和最小的小行星之间，还没有找到什么中间的物体。虽然由于观测上的困难，我们没有观测到这些中间物体，事实上这两种天体是有截然不同的区别的。流星体这个词是指在地球大气外的空间运行的物体。至于流星则指流星体在大气里经过时因摩擦而发光的现象。可是“流星”这名词其实并不很恰当，因为从空中掠过的这一线光明，却不是星。幸而在一般常用的意义下，并不发生什么困难。

研究流星的第一个问题便是测定它出现时候的高度。测量的方法是相隔约有三十几千米的两位观测者，注意同一颗流星在星座间的路径，把它的位置描绘在星图上面。因透视的缘故，这两条路径并不重合在一起。根据这两条目视的路径加以推算，便可求出流星的高度。就平均值说来，亮的流星出现在 140 千米高处，消逝在 50 千米高处，经过的路径超过 300 千米。暗的流星出现在 110 千米高处，消逝在 80 千米高处，路径约长 60 千米。但是每一颗流星的具体数值可和平均值相差很远，曾有出现在 500 千米高处的流星。流星愈大，消逝时的高度愈低。可是体积大得可以落到地面来的陨星，因受较密的低层大气的阻挡，它的速度减得很快，它的光线到几千米高处才会熄灭。甚至达到地面的时候，如果它有相当大的体积，因受空气骤然的压缩，可以发生爆炸的现象。

流星的发光期是很短暂的。最暗的不过几分之一秒，最亮的也不过是几秒(平均 3 秒至 5 秒)。很大的流星，我们可以用稍长一些的时间来追踪它。

流星出现的数目并不是每夜都相同的。有三种周期性的流星，即周年的、周月的与周日的，这是耐心的观测者的发现。初期有名的流星观测者在法国有库耳维耶-格腊维耶(Coulvier-Gravier)，在英国有德宁(Denning)。美国的流星学会和陨星寻找学会是专门研究这一门学科的织织。

在 19 世纪，出现流星最多的日子是 8 月 10 日的夜晚和 11 月 14 日的早上，现在却推迟到 8 月 12 日和 11 月 15 日了。8 月的一次流星在 12 日前后经历几天之久，11 月的一次只在 15 日的早上。11 月这一次有时流星出现得很多，有人把它譬如天空落火。

被人发现许多流星的轨迹从天空的同一区域出发，这叫做辐射点(图 534)。所以这些流星的路径向后面延长，相交在一个小小的区域里。至于另一种名叫偶发流星的，则没有一定的方向。我们容易明白流星的路径汇聚在一个辐射点，只是透视的效果。它们在空

间里真正的轨道是平行的，所以看上去有从一点散开的现象，正如透过云层的夕阳光辉、夹道的两行树木、铁路的双轨、田里的畦径等，从远处看上去总有相合在一点的情况。辐射点实际上不是一点，而是天穹上的一个小小的区域。所以不汇聚在一点上是由于以下几件事实：一方面因为这些形成流星现象的物质由于形状的差别，被地球的引力和大气的阻力改变了运动的方向；另一方面，产生更大的偏差的原因是由于观测上的误差。根据照相方法所测定的几个辐射点，比目视法所测定的辐射点区域就小得多。可是关于这个问题的资料，差不多全部都是从目视法得来的。用目视法测定流星的轨迹相交在 2°直径的范围内的，我们都把它们当做是具有同一辐射点的流星。至于用照相法观测的流星，只限于明亮的，它们的轨道相交的范围只有几弧分，这是说明在照相底片上测量的精确度只达到这种程度。

最重要的流星群以它们的辐射点所在的星座命名。如果同一星座里有几个流星群，我们可加上和它们最近一颗明星的希腊字母或者附上它在一年内出现次序的号数。例如天琴流星群、英仙流星群、狮子流星群、宝瓶 γ(或宝瓶 I)流星群、宝瓶 δ(或宝瓶Ⅱ)流星群、猎户流星群等。流星群有几百之多，绝大多数都用它们辐射点的赤经赤纬来表示。经过几天甚至几个星期还观测到辐射点在天上不是固定的，因地球和这些流星物质的综合运动，它们渐渐地改变位置。有少数辐射点好像是固定的，这还没有确定的解释，大部分可能是由于邻近的许多辐射点的继续出现的缘故。

很久以来人们便觉察到在同一夜里，夜愈深所见的流星愈多，平均说来早上 6 时比晚上 6 时所见的流星数目约多 1 倍。假设流星从各个方向而来，晚间地球只接收能够赶上它的，早上它可以碰见一切在它道路上的流星。还有，夜晚的流星比早晨的流星来得缓慢。假设一个质点具有每秒 42 千米的抛物线速度，在晚间碰着地球。因地球的速度是每秒 30 千米，所以合速度是 12 千米/秒，可是在早晨这合速度便是 72 千米/秒，如果将地球的引力计算在内，这两个数字还需有一些修改。

流星群和某些彗星是有关联的。1833 年美丽的狮子流星雨以后，奥姆斯特德(Olmsted)和特文宁(Twining)于 1834 年说明辐射点的存在，可以解释为流星质点像彗星一样有环绕太阳运行的一定轨道，地球恰在这轨道和黄道的交点上碰见它们。1861 年扣克伍德又说明这些质点便是古代彗星的碎片。1866 年斯基帕雷利证明 8 月里的英仙流星群在 1862Ⅲ那颗美丽的彗星的轨道上运行。过后不久勒威耶公布了 11 月狮子流星群的轨道，当奥波耳子研究了滕珀尔彗星(1866Ⅰ)轨道之后，这两个轨道的一致性便非常清楚了。加耳和韦斯(Weiss)证明 4 月 19 日的天琴流星群走的是撒切尔(Thatcher)彗星(1861Ⅰ)的轨道。4 月 30 日的宝瓶流星群在有名的哈雷彗星的轨道上，11 月 27 日的仙女流星群来自比拉彗星(1852Ⅲ)，因此又有比拉流星群的称号。我们说过这颗彗星于 1845 年分裂

为二，1852 年出现以后便没有再被人看见过了。1933 年 10 月 9 日天龙座内的美丽的流星雨，最近被人证明和雅科比尼-济内尔(Giacobini-Zinner)彗星(1933Ⅲ)有关系。



**图 535 1933 年 10 月 9 日出现的属于雅科比尼流星群的流星雨，露光自 20 时 3 分至 55 分（世界时），视场范围为赤经 15°、赤纬 11°，中间的大星是织女**

下面我们叙述几个最有名的流星群。

11 月 15 日的狮子座流星群，辐射点在狮子座 ζ 星的附近，在 19 世纪于 11 月 7 日至 20 日出现，以 13 日至 14 日为最多(图 536)。美国天文学家 H. A. 牛顿于 1864 年证明历史学家记载的 902 年、931 年、934 年、1002 年、1101 年、1202 年、1366 年、1533 年、1602 年以及 1698 年 10 次明亮的流星雨都属于这一群。每年的出现日期自 902 年已经逐渐提前了 33 天，902 年出现极多的时期是在 10 月 12 日，1202 年是在 10 月 19 日，1366 年是在 10 月 22 日，1799 年是在 11 日到 12 日的晚上。1766 年的流星雨使委内瑞拉的土人大为惊慌，1799 年洪堡(Humboldt)和博普朗德(Bonpland)也在委内瑞拉海边的库马纳看见“成千上万的流星和火球”持续落了 4 个小时之久。拉布拉多尔和格林兰的爱斯基摩人也惊骇万分。最大的流星的直径看上去比月亮还大。1833 年的流星雨还更惊人，奥姆斯特德在波士顿观测，把这阵流星雨比做像一阵大雪里空中所飞的雪片，而且计数了有 24 万颗流星之多。一个农人第二天好奇地去瞧一下天空，看是不是所有的星都落光了！1866 年又有一次大的流星雨，虽不及以前两次那样丰富，可是在一个小时内有人就数了 6 000 颗

流星之多。1834 年奥伯斯说明 1766 年、1799 年和 1833 年三次流星雨都相隔 33.5 年，于是人们期待着于 1899 年或 1900 年可能再有一次大的流星雨。唐宁(Downing)和斯托文(Stoven)由计算表明因木星、土星和天王星三大行星的摄动，这流星群的主要部分离开了地球 300 万千米。于是 19 世纪末那一次流星雨便不会再显著地出现，事实上果然如此。

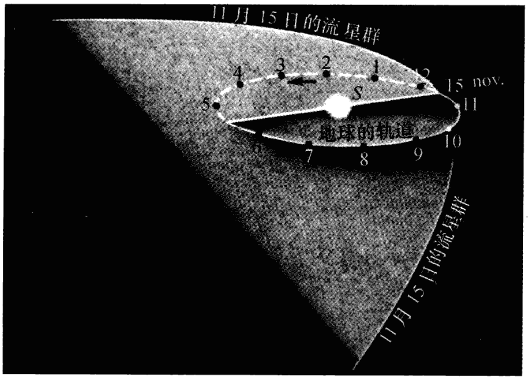



**图 536　流星的轨道**
这是 11 月 15 日出现的狮子座流星群和地球轨道平面相交的情况。

这一群流星的颜色一般是淡红的。因为地球迎面地撞着它们，所以它们运动得很快，它们背后常拖曳一条绿色的尾，可持续几秒钟不灭。这群流星在轨道上的分布很不均匀，我们所看见的大流星雨是最密集的部分所形成的现象。

我们说过狮子座流星群和只一度出现的滕珀尔彗星(1866Ⅰ)有关。这颗彗星的远日距差不多等于天王星的轨道的半径。在 1866 年周期是 33.18 年。勒威耶以为这颗彗星的轨道原来本是抛物线的，因 126 年它非常接近天王星，受了这颗行星的摄动，使它成为太阳系中的一员(图 537)。

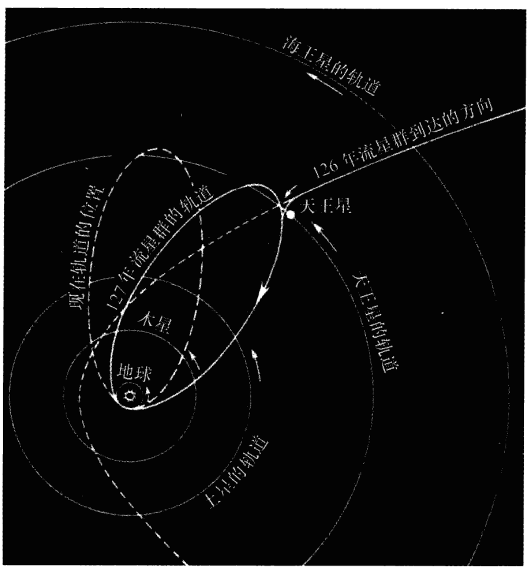



**图 537　狮子座流星群是怎样被天王星羁留在太阳系里的**

**英仙座流星群**于 8 月 10 日至 12 日形成的流星雨又名“圣洛朗的眼泪”(因为 8 月 10 日是这位圣神的节日)，这一个流星群从 7 月 8 日至 8 月 22 日离开地球(图 538)。这一次流星雨的极大日期在 19 世纪一直到 1885 年，发生于 8 月 10 日，现在改至同月 12 日去了。在出现的 6 个星期里，它的辐射点因地球公转的缘故，由仙后座 O 星移至鹿豹座。在极大的时候，辐射点挨近英仙座有名的大陵五变星。这一群 8 月里的流星雨比 11 月的一群更要稳定一些，曾于 1779 年、1834 年、1836 年和 1839

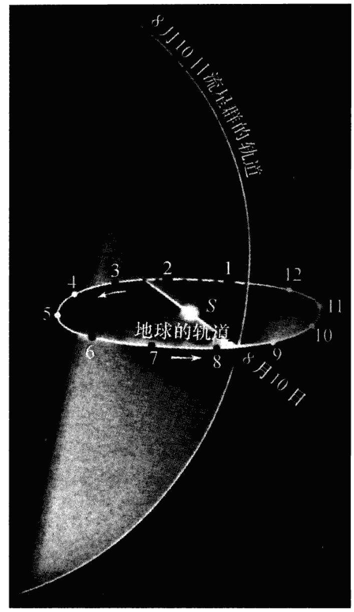


图538 英仙座流星群的轨道和地球的轨道平面相交的情况

年4年内有显著的出现。英仙座流星群和它们的尾都是黄色的。它们的速度比狮子座流星小很多,因为它们是从旁边射向地球的。它们在轨道上的分布也比较均匀一些。英仙座流星群跟随着1862Ⅲ彗星运行,这颗彗星的周期是120年,远日距是47天文单位,比冥王星的平均距离(39天文单位)还远许多。

仙女座流星群又名比拉流星群,出现于11月27日,辐射点在仙女座γ星附近,无规则地分布在一个广大的区域之内,曾于1872年和1885年出现了两次很美丽的流星雨(图534)。第一次在7小时内落下16万颗流星,平均每小时有2.3万颗之多。1885年那一次没有前一次那样明亮,但是每小时落下的数目也有1.5万颗。流星和它们的拖尾都带红色,因为它们从地球后面追来,所以视运动相当迟缓。它们并不形成一个连续的环。它们和著名的比拉彗星有关,这颗彗星的周期是6.62年,远日距稍微在木星轨道的外边。在比拉彗星崩溃以前,仙女座流星群已经于1741年、1798年、1830年、1838年和1847年经人观测过。所以急于断定流星群是由一颗彗星崩溃而来的,也不十分合乎事实。狮子座、英仙座、天琴座三座流星群,在和它们相关的彗星发现以前几百年,就被人观测过。根据惠普尔凝冻彗核的假设,彗核缓慢的分解是可能的。但是,这是不是足以解释观测到的那么多的流星呢?这问题离解决的时期还很远呢。

现在仙女座流星群于11月23日而不是27日赶上地球,这是因为木星的摄动使流星改道,以致我们不会看见它们。

还有很多辐射点,我们现今知道的已经有700个以上,下面举出主要的几群。牧夫座流星群于1月2日和3日出现,辐射点在牧夫β星附近。天琴座流星群于4月16日至22日之间出现,从织女星附近射出,沿1861I彗星的轨道运行(图539)。宝瓶γ流星群出现在5月1日至13日之间,与哈雷彗星有关,运动迅速,行径很长。宝瓶δ流星群出现于7月25日至30日之间。10月9日出现的天龙座流星群和雅科比尼-济内尔彗星有关,我们说过在1933年它们造成一阵美丽的流星雨(图535)。猎户座流星群辐射点在猎户ν星附近,于10月16日至26日可以看见。双子座流星群于12月1日至12日之间,从北河二(双子座α星)附近射出。

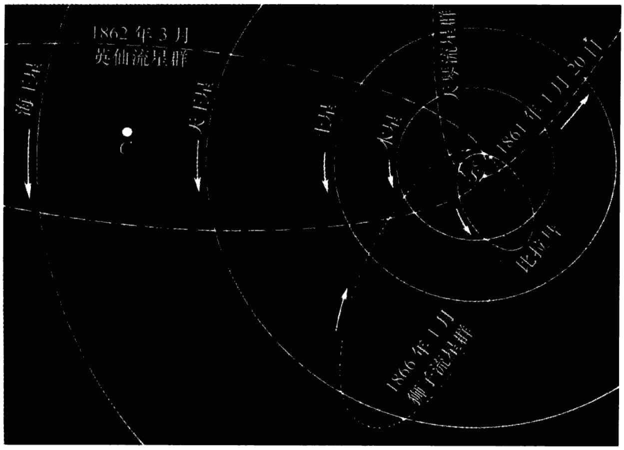



**图 539　狮子座、英仙座和天琴座三座流星群的轨道与 1866 Ⅰ、1862 Ⅲ 及 1861 Ⅰ 三个彗星**

流星在群内的分布之所以有或多或少的拉长而且弥散，那是因为组成群的粒子布满在广大的空间里。例如英仙座流星群经历了至少 12 日，在这期间地球已经走了 3 000 万千米。波特(Porter)计算它们的宽度超过 700 万千米。这些质点和太阳的距离不是相同的，所以按照开普勒第三定律，它们的周期也不相同。因此，这群流星遍布在轨道上各处。因时间的积累，这群流星终于形成质点的环圈，最迅速的成员追上了最缓慢的成员，正如跑道上的赛跑人，起初是挤在一道，继而逐渐前后不齐，终于最先的赶过最后的一个整圈。这样我们便容易解释为什么一个流星群里的流星在彗星经过的前后均可出现。

每年同一个时期，当地球到了它的轨道和流星群的轨道相交的升交点和降交点之处，它就撞着流星。如果这群流星已经有很长的历史，它的成员有足够的时间散布在它的轨道上的各处，那么，每次我们都可看见像上面所说的狮子座流星群那样的流星雨。反之，如果这个流星群是新近的，它便是一个密集的群，只有地球和流星群相遇在某一点时才有流星雨，如果地球和流星群的两个周期不是可公约的，这种现象的重演，便需很长很长的时间。

流星群本身有或多或少的宽度，它们的轨道对于黄道有或大或小的倾斜。地球经过这些轨道，需要几小时、几天以至几个星期(如白羊 ε 流星群的情形)不等。在这样的情形下，流星很稀疏，经过许多日子还不能寻出辐射点来。

流星群每年出现的日期有差异，还有一个原因。流星群遭受它所接近的行星的摄动，因此它的轨道和周期都有变化，交点在地球轨道上不常是相同之点，而且这种改变常相当大，以致地球所碰见的，有时是边沿上的很少的成员，有时甚至完全碰不见什么。所以这一年和那一年之间有相当大的变化，是不足怪的。有些辐射点在过去发出很多的流星，今天只有少数几颗，甚至完全绝灭。另外一些辐射点，平常很少流星，没有预料到一下子又出现很大的流星雨。

将已知辐射点列成一张表是相当容易的，但是要写出一张确切的、可以预言流星雨出

现的日期表却不可能，特别是对于密度不均、逐年变化的流星群更是如此。

下面我们转载诺顿(Norton)星图中的重要辐射点的表。这些都是最活跃的、现今还很容易看见的流星群。这张表只能当做观测指南，而不可当做它出现的预报。

统计结果为平均每夜可以看到 50 个辐射点，这不等于说实际可以看到有这许多点发射流星。

在这些重要的流星群里有几群的活跃期可以上溯到很久以前。例如狮子座流星群自 902 年以来，英仙座流星群自 865 年以来，天琴座流星群自公元前 5 世纪以来都有记载。诺顿表内是指目视辐射点，而赤经、赤纬是表明出现的平均期的方位。

**重要的目视辐射点**

| 号数 | 出现期 | 赤经 | 赤纬 | 流星群名称 | 附注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 月 2—3 日 | 230° | +53° | **象限仪流星群** | 速度平常 |
| 2 | 1 月 17 日 | 295° | +53° | 天鹅 χ 流星群 | 缓慢，瞬息消逝 |
| 3 | 2 月 5—10 日 | 75° | +41° | 御夫 α 流星群 | 极慢，火流星 |
| 4 | 3 月 10—12 日 | 218° | +12° | 牧夫 ξ 流星群 | 快，延续颇久 |
| 5 | 4 月 20—22 日 | 271° | +33° | **天琴座流星群** | 快，延续颇久 |
| 6 | 5 月 6 日 | 334° | −2° | 宝瓶 γ 流星群 | 很快，行径长 |
| 7 | 5 月 11—24 日 | 247° | +28° | 武仙 ζ 流星群 | 快，白色 |
| 8 | 5 月 30 日 | 333° | +27° | 飞马 η 流星群 | 很急、延续颇久 |
| 9 | 6 月 2—17 日 | 253° | −22° | 天蝎 α 流星群 | 极慢、火流星 |
| 10 | 6 月 27—30 日 | 228° | +57° | 天龙 ι 流星群 | 极慢 |
| 11 | 6—9 月 | 269° | +48° | 天龙 γ 流星群 | 慢、瞬息消逝 |
| 12 | 7 月 18—30 日 | 304° | −12° | 摩羯 α 流星群 | 很慢、明亮 |
| 13 | 7—8 月 | 315° | +48° | 天鹅 α 流星群 | 快，行径长 |
| 14 | 7 月 25 日—8 月 4 日 | 48° | +43° | 英仙 α-β 流星群 | 很快，延续颇久 |
| 15 | 7 月 25—30 日 | 339° | −11° | 宝瓶 δ 流星群 | 慢，行径长 |
| 16 | 8 月 10—12 日 | 45° | +57° | **英仙座流星群** | 很快 |
| 17 | 8 月 12 日—10 月 2 日 | 74° | +42° | 御夫 α 流星群 | 很快，延续颇久 |
| 18 | 8—9 月 | 332° | +49° | **蝎虎座流星群** | 速度平常，行径短 |
| 19 | 8 月 10—20 日 | 290° | +54° | 天鹅 χ 流星群 | 速度平常，明亮 |
| 20 | 8 月 21—23 日 | 291° | +60° | 天龙 o 流星群 | 很慢，1879 年极多 |
| 21 | 8 月 21—31 日 | 263° | +62° | 天龙 ζ 流星群 | 颇慢、明亮 |
| 22 | 9 月 7—15 日 | 61° | +35° | 英仙 ε 流星群 | 快，延续颇久 |
| 23 | 10 月 2 日 | 230° | +52° | **象限仪流星群** | 慢，1877 年 |
| 24 | 10 月 9 日 | 268° | +54° | **雅科比尼流星群** | 速度平常，1933 年 |
| 25 | 10 月 12—23 日 | 42° | +21° | 白羊 ε 流星群 | 很慢、火流星 |
| 26 | 10 月 18—20 日 | 92° | +15° | **猎户座流星群** | 快，延续颇久 |
| 27 | 10 月 30 日—11 月 17 日 | 64° | +22° | 金牛 ε 流星群 | 慢，火流星 |
| 28 | 11 月 3—15 日 | 55° | +13° | 金牛 e 流星群 | 很慢、明亮 |
| 29 | 11 月 13—15 日 | 150° | +22° | **狮子座流星群** | 很快，周期 33 年 |
| 30 | 11 月 17—27 日 | 25° | +43° | **仙女座流星群** | 很慢 |
| 31 | 12 月 10—12 日 | 112° | +33° | **双子座流星群** | 速度平常，白色，多 |

注："火流星"是指比金星和木星还亮的流星。黑体字为最重要的流星群。

1 号与 23 号——象限仪星座今已废弃，拉朗德以这个星座命名这两个流星群，它的辐射点在今牧夫 β 星之北。

5 号——有很多的流星在相当不规则的日期里出现。中国史籍在公元前 687 年已有记载。这个流星群和 1861I 彗星(周期 415 年)有同一的轨道〔即《春秋》上"鲁庄公七年四月辛卯夜中，星陨如雨"的记载。——译者注〕。

6 号——在日出以前出现，有长的行踪，与哈雷彗星同轨道。

10 号——与蓬斯-温内克彗星(1819Ⅲ=1939Ⅴ)相关。

12 号——与唐宁彗星(1881Ⅴ)或有联系。

16 号——英仙座流星群出现于 7 月和 8 月，极多在 8 月 10 日至 12 日。辐射点由 2°、+41°移到 68°、+61°。

24 号——与雅科比尼-济内尔彗星(1933Ⅲ)有关，又名天龙 ξ 流星群。

29 号——狮子座流星群的周期是 33.3 年，曾于 1799 年、1833 年、1866 年三次形成流星雨的现象，但因木星对于它们的轨道的摄动，1900 年和 1933 年出现的流星很少。它们在 1866Ⅰ彗星的轨道上运行。

30 号——辐射区范围宽广而且无定。这群流星和分解了的比拉彗星有关，曾于 1872 年和 1855 年形成大流星雨的现象。

平常在敞亮的地方，一个人凭肉眼一小时内平均可以看见 4～6 颗偶发流星，出现时间很无规则，可能等待几十分钟还不见一颗。但遇到大流星群回来的时候，每小时可以看见 10～16 颗，对于特殊的流星雨，这个数目可以增加很多，如像我们在狮子座流星群所看见的那样。

在一年内地球遇见的目视偶发质点，每日当以 2 000 万计，彼此相隔平均约有 260 千米(根据波特的计算)。对于英仙座流星群的情形而言，这个距离缩短至 120 千米；对于 1833 年狮子座大流星雨的情形而言，每时平均达 3.5 万颗，质点相隔还有 15～30 千米的数量级，所以最密的流星群也不能和最密的彗核相比。

现今天文学上一些关键性的问题，如星际的吸光、高层大气的组织、太阳系的起源等，都将由流星数目的计算和质量的估计去寻求解决的线索。

流星的计数在原则上是不困难的，只需在一定的地方做实际的计数，再使用合理计算的方法，推出整个地球所该接收到的数字。我们现在推得的数字是根据许多观测者(几乎全是业余爱好者)对在许多地方经过许多年的观测结果的统计。

1884 年 H. A. 牛顿计算出在 24 小时内整个地球上肉眼所能看见的流星总共是

2 000 万。

怀利(Wylie)再根据许多观测，特别是根据美国陨星学会的报告，于 1935 年说明愈暗弱的流星数目愈多。他把一切大小的流星都计算进去，并将它们的总质量表示为亮度的函数，在坐标图上的点的分布，便是一条和概率曲线相类似的钟形曲线。他所用的观测不但是肉眼所见的流星，也有用望远镜才能看见的流星。这条曲线虽不完全(特别是用望远镜才可看见的流星这一部分)，但是足以代表观测的数字，比单纯估计的办法进步了很多。我们现在把这位天文学家所得的结果略述如下：肉眼所能见的流星数目，根据许多测定，

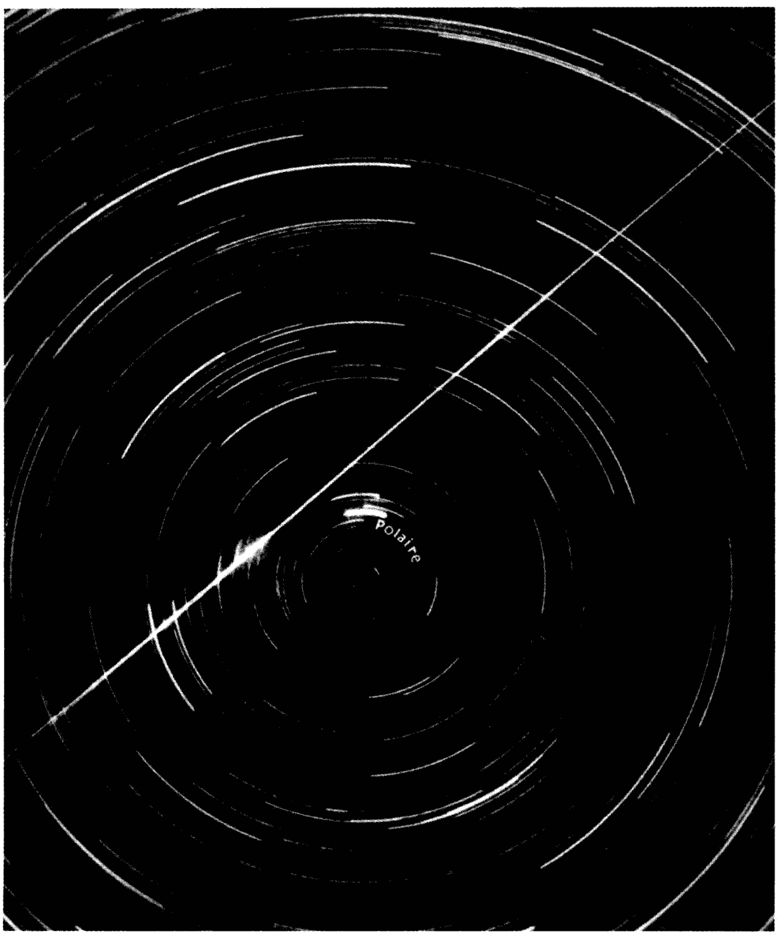



**图 540　一颗亮流星的行径**

这颗流星的行径挨近北极，在英国于 1922 年 11 月 16 日 20 时 58 分至 23 时 12 分之间被洛基尔拍得。照相箱固定指向北极，在露光时间里拱极星留下以北极为中心的视轨迹。靠近中心的细线属北极星。流星向左下方去，它最亮时靠近极星，照片上明亮处的微晕是因照片底面的反光。

和 H. A. 牛顿过去所测得的数字是符合的。就全球每天所看见的、明亮至 4 星等的数目达 2 400 万，即全年达 87.6 亿之多。这是现今测定得比较好的数字。明亮到 0 等星，如像织女、五车二(御夫 α 星)那样的流星，每天出现的也有 30 万颗之多。

远镜流星也像目视流星那样愈暗弱的数目愈多。从上面所说的曲线推得星等至 15 而达极多，每 24 小时内地球可以碰见几十亿枚。

产生微暗流星的质点是太渺小，在大气里很短的过程中便已挥发，不能落到地面上来。但有大的块状物叫做火流星的，在空中只挥发一部分，剩余的落到地面上来。流星要成为落地的陨星，它的重量在进入大气的时候，至少是 5 千克。这样的陨星，大部分的物质均在空中挥发，造成一团很明亮的火球，后面拖着一条带火星和气体的长尾，光线可能持续至一小时以上不散(图 541)。流星出现后几分钟常可听见从十几千米外而来的像雷一般的响声。在更巧遇的情况下，还可以在坠落处觅得重几十克的碎块。以法国这样的面积来说，像这样大的陨星每年平均都可以落 6 枚。

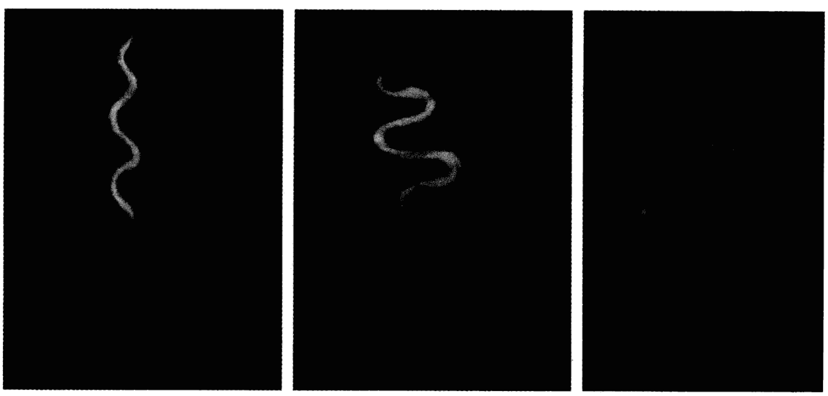


**图 541　1935 年 3 月 24 日流星的余迹〔挪威的纳沙姆 (Naesheim) 绘〕**

这余迹因大气流动的作用，在短时间里改变了形态。顶上的一端高出地面 100 余千米，下端约 80 千米。三幅的时间分别为(从左到右)：19 时 0 分，19 时 10 分，19 时 20 分。

怀利的曲线更说明平均每 20 年有一块在空间里重 3 000 千克的陨星坠落在法国境内。这个数字好像是大了一些。像这样产生耀眼的火光、雷鸣的响声的大陨星，落到地面上最大的碎块常不会超过 500 千克。如果它是垂直地落下，它便陷入地下，一般是不会被人找到的。

根据这条曲线，在空间里重 5 万千克的陨星平均每 30 年落到地上一块，那么在法国的土地上便要 8 000 年才会落下这样重的一块了。它不但造成巨响，而且震撼房屋和土地，它的几千千克重的碎块可以落到地面。这些陨星如果是铁和镍的，进入大气时的直径长约 2.25 米，如是石块，长约 3 米。

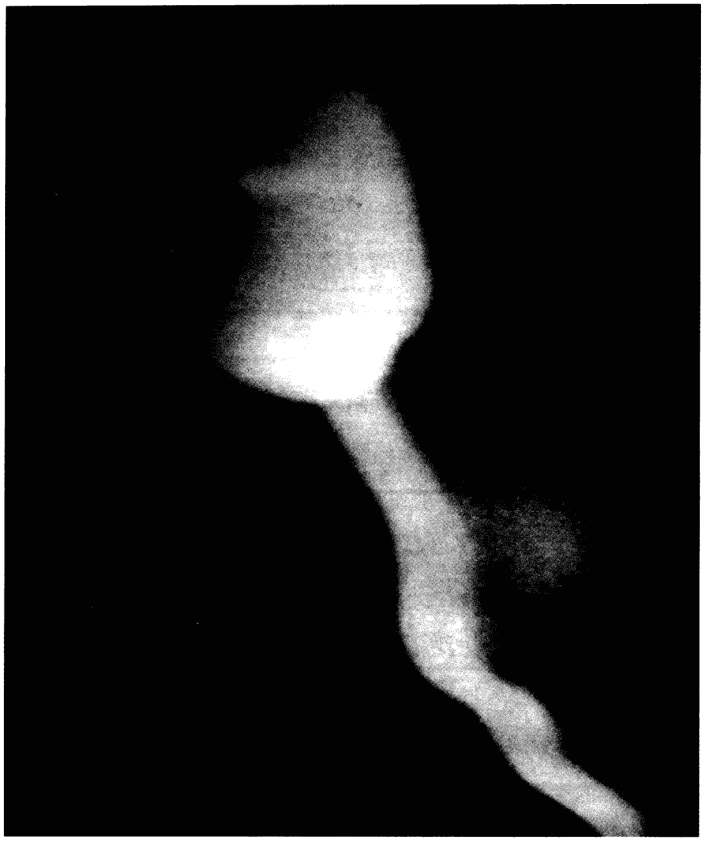


**图 542 1933 年 3 月 24 日的大流星**

1933 年 3 月 24 日早上 5 时，一颗耀眼的流星，随着一阵震耳的雷声，从东到西经过美国的南部。这张照片是新墨西哥州一位农民用小号手镜箱所拍得的。流星走了一个很蜿蜒的道路。据陨星学会秘书尼宁杰尔(Nininger)教授的研究，这颗流星破裂成两片，各有很亮的球状气团围绕着，直径约有 10 千米之长。这颗流星高出地面约有 40 余千米，因此所占的角范围约 15°，比月轮的直径约大 30 倍。在人们看见它的 700 千米之内，相对速度达 30 千米/秒。它所拖的尾长达 300 千米，宽 5 千米，在 1.5 小时内还是明亮的。在它的行程中有石片坠落。

根据陨星所造成的坑穴的遗迹来看，可能有更大的陨星。再根据那条曲线，平均说来，对于全球每 200 年可能落下一块在空间里重 25 万千克的陨星，落在法国那样大的土地上便需要 5 万年了。因为空气的骤然压缩，这样的陨星必定爆炸，造成许多小坑穴，毁灭了周围的生命。在进入大气的时候如是陨铁，它的直径约为 4 米，如是陨石约为 5 米。

重 5 000 万千克以上的陨星，在全球约 10 万年内可落一枚，在法国约 3 000 万年内才有一枚。

现今地面上已经发现直径超过 30 米的陨星坑 10 余处。首先我们不应该把 1946 年查布(Chubb)在拉布拉多岛北端、离哈德逊湾不远所发现的那个大水坑当做是陨星坑。这个坑的地理位置是西经 73°40′、北纬 61°17′。它的直径长 3 300 米，深度自 100～190 米。周围是一个圆形的斜坡，高出附近的平原约有 130～140 米。仔细的钻探并没有在那里发现丝毫的陨星残余，地质学家研究的结果认为其成因可能是火山喷口。但是在美国亚利桑那州沙漠里的陨星坑的确是现今所知道的最大的陨星坑(图 178)。它的直径约有 1 200 米，边沿高出周围的平原 40 米。内部笔直下降至 180 米深。它的来源不是由于火山，而是几千年以前一块大陨星的冲击所形成的。

在这个坑穴外边以至 8 千米远的地方，人们曾经找到很多的陨星碎片，不少的碎片还嵌在坑穴的内壁上面。最大的那块陨星好像已经深深地埋在地下。坑底的岩石被陨星撞破，深入至 100 米以下。

另外一个像陨星击成的坑穴，直径 850 米，深 50 米，于 1947 年在澳洲之西沃尔夫溪被人发现，可是至今在它附近还没有觅得陨星。按大小的次序说，便该谈到澳洲中部的箱孔陨星坑，直径 170 米，深 15 米；还有美国得克萨斯陨星坑，直径 160 米，深 5 米；澳洲中部亨白里陨星坑，直径 108 米，深 18 米；阿拉伯的瓦巴尔陨星坑，直径 98 米，深 12 米；最后是阿根廷的天营陨星坑，直径 55 米，深 5 米。

1908 年 6 月 30 日一颗大陨星落在西伯利亚中部、伊尔库茨克北边(东经 102°，北纬 60°)的通古斯荒凉的沼泽深林区里。有几个人看见了这个现象吓呆了。接着而来的是剧烈的爆炸声，在 1 000 千米以外还可听见，远至欧洲也记录了这种震撼。这颗陨星到低层大气时变成了碎块。在直径 60 千米范围内的土地尽遭摧毁，杉树林净被掀倒焚烧(图 543)。被爆炸的风暴所刮倒的杉树，横卧在背着降落处的方向。在 3 千米直径的范围内分布有直径 1～50 米的坑穴 200 余处，现今都被水充满了。库里克(Kulik)教授于 1921 年和 1927 年曾两度去过那里仔细研究，据他估计总共降落的质量约有 4 000 万千克之多。如果这样一块陨星落在大城市里，很可能完全被它毁掉。幸而这样的意外事件发生的机会是非常的稀罕。



**图 543　1908 年 6 月 30 日坠落西伯利亚的大陨星**

在陨星坠落处的树林被焚毁。

小陨星达到大气的高层区的时候，就受到它们所压缩的空气的抵抗，使它们具有白热的高温。它们就逐渐挥发，抛弃燃烧着的细小质点，形成拖曳的尾巴，常常可以看见，一会儿就消逝了，这条尾巴离陨星本身很近，只亮了很短的一段时间。这些小陨星穿过高层大气时的速度是每秒几十千米。如果它们的质量小于 5 千克(这些宇宙里的射弹差不多全部都是这样的微小)，根据怀利的计算，它们整个都会被挥发殆尽。于是在我们的高层大气里留下的气体产物和固体灰尘，再慢慢地降落下来。大气里金属蒸汽(特别是夜天光的光谱里所表现的钠原子)和显微灰尘之间有一定的比例。儒奥斯特(Jouaust)和瓦西(Wassy)分析了陨星渣滓，计算出在每秒钟里每平方厘米上有 2 500 个钠原子降落下来。至于固体质点作为显微镜下含铁的灰尘，不论在地球上什么地方，甚至两极和高山的雪里，也可以找到(图 544)。



**图 544　陨星灰尘的显微照相**

1951—1952 年冬季汤姆孙(Thomsen)所搜集。图中的球团是由于陨星铁磁性的结合，这颗陨星熔化后磁性仍然保留。玻璃球是混在铁质球内，用以作比较的。这些球都是从地球以外而来的。一条直径为 0.040 毫米的头发放在旁边，作为比例尺度。

流星的质点不落到地面上来，所以它的质量不能直接测定，而必须间接地用光度法去加以估计。法国物理学家法布里证明一颗明亮到 2 星等的流星，平均在 100 千米高处，光亮便有 5 000 枝蜡烛的光那样强。假设这光亮完全是由这白热化的质点发出来的，它的温度便等于电弧的温度(3 000℃)。只需要一个直径为 5.7 毫米、密度为 4、重量为 0.3 克的小颗粒，便可以达到这样的亮度。法布里说只是白炽作用还不足以说明流星的白色和它所发出的明线光谱，流星和它的拖尾大部分的光线都应该说是它的气体所发出的光。这些见解完全得到事实的证明。1926 年马里斯(Maris)根据流星光谱的数据，计算出 2 星等的流星在 100 千米高处时质量只有 25 毫克；1933 年奥皮克(öpik)还求得这种流星只有 12 毫克，还不及一枚针头那样大。缪拉乌尔(Muraour)对于爆炸的研究，说明这种高速度的天空射弹比枪弹还快 100 倍，应伴有一种很光亮的骇波〔骇波也叫激波或冲击波。这是由于物体的高速运动或爆炸，在媒质中所引起的压缩作用，它以超声速传播着。在骇波波前的两侧，媒质的温度、密度、压强等都有突变，因此可以利用骇波获得高温和高压。——译者注〕。

怀利根据流星的质量和数目的数据，说明地球每天接收宇宙中的物质大约有 5 000 千克，每年约 200 万千克。这样在地球上每平方千米内每年所落的渣滓不过 4 克而已。假设在过去 30 亿年里，地球每年总是接收这样多的分量，整个地面上的宇宙尘埃也仅只有半厘米那样厚。用这种方法测定的宇宙物质落地的分量，实际上不能影响地球自转的周期。可是汤姆孙从流星灰尘的沉淀的研究中，范德 · 胡斯特(Van de Hust)从黄道光的研究中，最近所得的数字约大 1 000 倍，我们在后面还要谈到。对流星速度的测量是一个基本的问题。上面对彗星所说的这一点亦可用于流星。凡是具有椭圆速度的都属于太阳系。但是在这些著名的流星群以外，还有很多从空间各方向而来的偶发流星。因为它们是各自独立的，它们的速度应当分别加以测量。这种测量相当困难，在实测以前，意大利天文学家斯基帕雷利建立了一种理论，根据每小时的计数，可以计算这些速度。他总结说最满意的解答是抛物线速度(击中地球的天体的速度是每秒 42 千米)，所以这些流星亦如彗星走的是近似抛物线的轨道，因而是属于太阳系的。1920 年奥皮克再研究这个问题。他说斯基帕雷利的两个基本假设，一个是几何学的，没有什么可以指责，另外一个是物理学的，却并不正确。这种假设以为所有的流星穿过大气的时候都可发光而被人看见，这样便假定质量有一个下限，那便是不正确的。他说只按每小时所见的流星数目不能够解决这个问题，还须加入方向上的统计。他根据第一近似值总结说平均速度可能超过抛物线速度很多，而成双曲线速度，所以偶发流星不属于太阳系。

霍夫迈斯特(Hoffmeister)讨论他个人的观测并加入前人的观测，也得到同一的结论，

即流星冲入地球的轨道时,平均速度达每秒 70 千米。

在星际里,也许在银河系里,也有陨星的存在。根据这些统计的初步研究,这似属可能,于是便产生了一个很重要的问题。辐射、恒星、星团以及星系所运行的空间,因有这些陨星体的存在,便影响这些天体间距离的测定。因此哈佛天文台曾派遣一队人到美国亚利桑那州的旗杆镇专门用目视方法去测定流星的速度。照相方法的缺点是它很少能照得比 0 星等更暗的流星,至于目视法对于暗到 5 星等的数百颗流星都可看见。我们不详细叙述望远镜加上摆动反光镜的目视方法。在 366 个夜里有 2.2 万颗流星被观测到。根据这些观测所算出的轨道,愈暗的走双曲线形的轨道愈多。对于 8.5 等的流星,以每秒 140 千米的速度的为最多。

1930 年霍夫迈斯特旅行到大西洋热带去重新研究这个问题,为了了解纬度的效应,1933 年他同里希特尔再去,到了南纬 35°的地方。他根据在海洋地区大量的观测,断言在星际空间里有一质点系,从金牛座而来,指向与它对径相反的方向,在天平、天蝎两座间之一点。60 多年以前尼塞耳(Niessel)发现两个不是从彗星而来的流星系,一个从金牛座来的,出现于 10 月和 11 月,另一个从天蝎座而来,出现在夏季三个月内。这以后克诺夫(Knopf)又说明这些流星整年都可看见。因为尼塞耳、霍夫迈斯特两人所说的金牛流星系好像是相同的,于是霍夫迈斯特便以为银河系里的吸光云和这个星际物质系统应有亲属的联系。

这些结论引起了天文界很大的兴趣和辩论。我们就要谈到,由于最近的研究,这些结论都被放弃,认为不能成立。

用目视方法测定的速度包含很大的误差,例如角速度的估计就很不可靠。而且流星的高度真正被人测定的为数很少,因为一般的观测只限于在一个观测站上。我们就按统计的结果,取一个平均高度,去计算直线速度。这一切事实观测者自然是知道的,所以就想到别的更可靠、更精确的办法。自 1891 年以来,又有人采用照相的方法。埃尔金(Elkin)在耶鲁选择有相当距离间隔的三个观测站,去测定流星的高度。1899 年,在这个仪器的物镜前面装上一个旋转的扇片轮,在相等时间间隔如 1/20 秒内遮着光线。流星在底片上所留下的痕迹,便是一条黑白相间的点线,综合几个站的照片,便可很精密地测定流星的速度。不幸这个方法收效不大,因为它只可能记录亮的流星。这个仪器曾经系统地指向四个主要的流星群(英仙、猎户、狮子和比拉)的辐射点。因为这些流星的速度都是椭圆式的,所以相当暗的具有双曲线速度的偶发流星的观测,还是需待解决的问题。这种方法最近在法国被里果勒(Rigollet)加以改进〔参看《天文学报》第 4 卷第 2 期(1956),265～272

页。——译者注〕(图 545)。



图 545 英仙座流星群中一员的踪迹

1952 年 8 月 11 日 20 时 41 分，里果勒在法国南方天文台拍摄。镜箱前面装置有旋转扇片轮，每秒钟造成 10 次开关。露光各段愈向下愈长，表示在露光时间内，流星愈来愈近地面。

这个问题一直等到雷达发明以后，有了射电观测方法才得以解决。上面说过一粒陨星冲进我们大气的时候，因为它具有高速度的缘故，受到它所碰着的空气分子的勇猛撞击。它立刻变热，它的表面变成白炽状态而成气体蒸发。蒸发后的原子立刻和周围的空气分子碰撞，造成光和离子。1948 年赫洛弗森(Herlofson)对于这个现象作了理论上的研究，算出动能转化为热的是 1 万份，为光的是 100 份，起电离作用的只有 1 份。这样形成的流星背后的一根拖尾，可以比拟做一根电离的圆柱，长达 10 余千米，有时还更长些。它的组织迅速地弥散，在半秒至 2 秒或 3 秒的时间以后就消逝尽了。

这样电离的气体柱头，很能反射由雷达发射机而来的波长 4 米或 5 米的电磁波。制造很窄的一束电磁波，从这柱上反射，正如光从镜上反射回来一般，反射角等于入射角。当雷达发出的波和流星拖尾正交的时候，它返回发射站形成回波。因此可以测定流星的方向，如果它是属于某一群的，并可推出这一流星群的辐射点，方法是将一束波放在互相正交的两个方向上，两次射向那流星拖尾上去。虽然测量的技术很细致，返回的波很微弱，但却做得很成功。辐射点的坐标可以测定在 10°范围之内。

用电磁波的方法探测流星比目视的、光学的或照相的方法，都有很大的好处，因为这个方法在任何时候都可使用，而不论阴晴昼夜。这样在短时间里(一秒里有几百次)记录下脉冲电磁波的回波，自 1945 年和 1946 年以来发现了夏季昼间有许多重要的流星群闯

进地球的大气。1947 年克勒格(Clegg)和他的同事在英国曼彻斯特大学焦德雷尔班克(Jodrell Bank)实验站以及后来在渥太华和斯坦弗尔所作的系统的观测,表明自 5 月开始宝瓶 $\eta$ 流星群的辐射点之外,还有别的流星群辐射点在地平线上,也可以在白昼观测到。这些辐射点引人注意的地方,便是它们的活动直到 6 月中还不衰歇。后来活动慢慢减少,一直到 8 月恢复正常。这种研究在以后几年里继续进行,结果说明白昼的流星比黑夜的流星更多。在白昼发现的有四大流星群即鲸鱼、白羊、英仙 $\zeta$、金牛 $\beta$ 四座流星群,它们的周期都很短,远日点都在木星轨道之内,这是一个奇特的事实。除了一群以外,别的流星群的周期都太短,不能和已知的彗星发生联系。这例外的一群是金牛 $\beta$ 群,它们的轨道和恩克彗星的轨道相合。因射电法所求得的流星速度(特别是对电离柱上所作的干涉条纹的记录),在这数千个速度的测定当中(包括目视和远镜的两种流星),没有一个超过每秒 42 千米的抛物线速度。最大多数只有比较小的椭圆速度。这些结果证明产生流星(不管是怎样暗的流星)的物质,都像彗星一样是属于太阳系的。

流星因转瞬间消逝,所以对它的光谱的研究是困难的,只能对最明亮的几颗加以研究,可是它们表现出很有趣味的结果,使我们可以讨论下列的三个问题:

(1) 使流星发光的原因的分析;

(2) 对于 40～250 千米之间的高层大气的组织的研究;

(3) 属于同群或异群的流星的组织的同异问题。

最早的分光观测是目视的,在双筒望远镜上配上棱镜的装置。1864 年 1 月 18 日 A. S. 赫歇尔首先观测到一颗 0 等的流星光谱,继后有塞西、孔科里(Konkoly)、布朗宁(Browning)等精通恒星光谱和实验室光谱的天文学家继续研究。他们发现流星核和流星尾的光谱并不相同,流星核的光谱差不多常是连续的,有时很强,在某些区段里特别强。

流星拖尾的连续光谱很淡,有时甚至看不出来,在流星核的光谱特别强的地方出现明线,在 3/4 的情况下,都有那条属于钠的黄色谱线。一条像是属于镁的绿色的明亮谱线时常出现,造成流星的碧玉般的颜色。还有别的谱线出现于红、绿等区,还不能确认其属于何种元素。自 1885 年以后,目视的分光法便被人们放弃了。

12 年以后大家开始使用照相的方法,仪器是很亮的物端棱镜。自 1897 年 6 月 18 日至 1929 年之末,只拍得 8 张光谱的照片。其中有许多发射谱线难于确认,特别显著的是电离钙的 H 和 K 两条谱线。1931 年米耳曼(Millman)在美国哈佛天文台对这个问题开始了系统的研究。他在蓝丘气象站安装了各种物端棱镜,自 1932 年至 1933 年一年间他拍得 13 张光谱照片,其中一张是－9 等的明亮流星的光谱,迄至 1935 年又拍得 14 张光谱

图。对这些资料的研究使作者将流星的光谱分为两类,暂时命名为 Y 和 Z。在 Y 类光谱里电离钙的 H 和 K 两条谱线强;在 Z 类的光谱里就没有这两条谱线。这样的分类法以后感到不足,又经人加上 X 一类,这一类光谱在 3 830 埃处,镁的紫外谱线比 H 和 K 两条谱线还强。今天我们已经拍得 100 多张流星的光谱。它们都有很多的明线,但只有一部分得到确认。铁元素发出它的最低能级的多重谱线,这些谱线的强度比从电弧里所发出的要强一些。流星光谱里还有中性钙、镁、锰、铬、硅的谱线,在 3 945 埃和 3 957 埃处的谱线,以及紫外区开始处的铝的住留谱线。目视的黄色谱线确是属于钠的,明亮流星发出绿的色彩是由于镁的谱线的缘故。5 206 埃处的绿色谱线是铬的三重线。最引人注意的便是流星光谱里没有空气、氧和氮的任何谱线。除了电离钙的 H 和 K 两条谱线之外,各个确认了(如铁、镁、铬之类)的多重谱线达到的高能级的激发电位,都不超过 6 伏特。至于流星的视连续光谱,好像是由于光超现象的缘故。

这些研究证实了法布里对于流星光的来源的见解。这些光极大部分是由流星物质挥发所成的气体发射出来的。至于同时可能有的微量的连续光谱,可能是由骇波所产生的。有效的激发温度比较低(2 000～3 000℃),相当于电炉的温度,这是可以用铁的光谱来证明的。

上面所说的不同的光谱类型是从哪里来的呢?可能有两个主要的原因:流星组织的不同,蒸汽激发程度的差异。

陨石平均含钙量是 1.7%,而陨铁(铁和镍)中就没有钙。有人以为陨石造成 Y 型光谱,陨铁造成 Z 型光谱。但是事实上却没有那样简单。在偶发流星的 14 个光谱里,只有 9 个,即 64%属于 Z 型(铁)。可是在搜集到的 528 块陨星里,只有 28 块,即 5.4%是铁质的。而且,在 Z 型光谱里发现有锰、铬、硅或钠的谱线,那是在陨铁里从来没有找到的。

马耳采夫(Maltzev)在 1930 年根据尼塞耳与霍夫迈斯特于 1925 年所公布的流星表,在流星出现的高度和地心速度之间寻得一种关系:速度愈大的流星出现和消逝的地方也愈高。所以激发的情况可能和速度与高度有关。

流星所余下的长久不散的拖尾,发出一种光谱,1866 年以后曾经被人用目视法观测过,1897 年以来被人用照相法观测过,可是积累的资料很少。这种光谱里有明亮光带,1924 年特罗布里奇(Trow-bridge)说明这样持久的光辉的来源与在很低压力下氮所产生的余晖现象的来源相似,这是由于在高层大气的稀薄环境里,原子或分子能长久地处在亚稳状态下的缘故。

**陨星** 现在我们谈一谈陨星。这是相当大的物体,它迅速地穿过空间,向各个方向发

出光辉，像一团火球，看上去有月亮那样大，有时还要大些(图 542)。这个物体经常拖有一条长而发光的尾巴。这白热的物体经常会爆炸，分裂成或多或少的碎片，抛射到各个方向上去。有时人们可以听见一次或者多次的爆炸声音，这声音可能传送到很远的地方去。这声音的来源是复杂的，一部分可能由陨星所产生的骇波而来。

有时一块相当大的陨星闯入大气造成一种名叫火流星的现象，昼夜都可能出现，不过在白天这种流星的光辉被日光减弱，除非发展到相当强的程度人们是不会觉察到的。

有时人们还可能在地上找到一块像石头的或像金属的固态物体，和它周围的土地像是没有丝毫相似之处。在记不起来的古代里，人们就知道这些物体的来源在地球以外，把它们当做从天上落下来的石头。2 000 多年前希腊人就崇拜落在阿哥斯河里的有名的石头，我们在这里转载中世纪所绘的天落石的图画(图 546)。有些博物学者把陨星叫做雷石，因为他们以为这是由雷霆里所抛掷出来的石头。人们容易把陨星误认为白垩地上的硫化铁(图 547)，或在高山峻岭上所发现的被电火熔融的岩石，可是确有从天而降的石或铁的碎块。从古代的传说和古代与中世纪的历史，以及一般人的信仰都证明有从天上落下的石头，奇怪的是许多研究科学的人却不肯相信。他们不是根本否认这些事实，就是对它们作出另外的解释，把落在地面上的石头当做是从火山抛出来的，或者由龙卷风从地面卷上去的，或者是由大气里的物质所凝结成的。但是也必须承认，人们给科学家的许多标本，附以怪诞的说法，却是值得怀疑的。1794 年德国物理学家查拉尼(Chladni)在关于一些铁块特别是在西伯利亚被帕拉斯(Pallas)觅得的那一块的来源问题的研究里，叙述了他的意见，即认为这些铁块是从地球以外而来的。



图 546　从天上落下来的石头(16 世纪的图画)

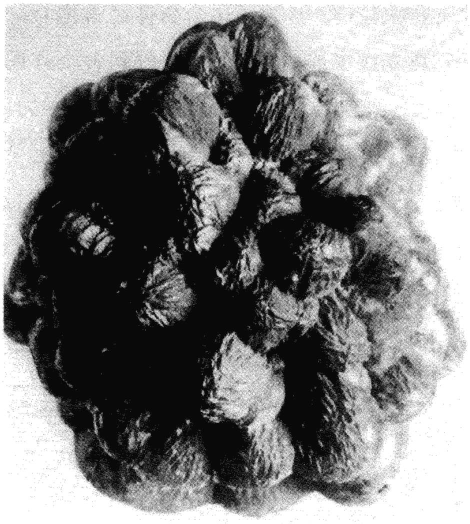


图 547 法国香槟地区的肾形白铁矿(不要误认为陨石)

这种怀疑的看法逐渐澄清,至 1803 年 4 月 26 日毕奥在法国科学院宣读关于在奥恩省累格勒地方降落大量石块的报告以后,大家才认清楚陨星的真正来源。毕奥到现场访问,仔细研究。据许多见证人说,一颗大流星从东南飞向东北,出现后几分钟,在阿朗松、卡昂和法莱斯三地听见一个可怕的爆炸声,跟着又是一串排炮般的声响,从很晴朗的天空中的一朵黑云发出。随着便有很多的陨石落到 12 千米范围内的地面上来,还有人拾到几颗正在冒烟的石块。最大一块的重量还不到 10 千克。自那次以后,又有几次陨星的坠落被人证实。每年总有几次陨星坠落被人察觉,拾到碰在岩石上粉碎了的陨星或者陷入地内深浅不一的石块。我们现在举出几次最显著的陨石坠落〔近年来我国境内经人亲眼看到陨星下落而且找到陨星的,已知有下列两处:(1) 1952 年 4 月 1 日下午 8 时陨星降落在江苏省如皋县东区万富乡民范村的麦田里,重约 5.5 千克,现保存在北京天文馆内。(2) 1954 年 4 月 12 日上午 4 时陨星降落在广东省阳江县十三区大泉乡店前村,重约 20 千克,现存广州华南师范大学。——校者注〕。法国蒙多邦城南边一个名叫奥尔盖尔(Orgueil)的小村里,于 1864 年 5 月 14 日 20 时,有一个比月亮还大、四周发射火花的流星出现。这颗流星差不多在整个法国都有人看见。它爆炸的时候,向各个方向发射炽热的碎片。几分钟之内还有一朵小小的白云留在空中。2~5 分钟以后,有人听见像雷霆般的响声。同时在那村子附近,石头像雨点般地落下。村里人去拾取的时候,它还是很热的,有一个人因此把手指都烧坏了。周围的草被热气烤焦变成了黄色。有人拾到二十几个因表面熔融像涂上黑漆般的石块。由化学分析得知这些石块里有含碳的物质、铁和镁的碳化物、磁性硫化铁、氢氯化氨等。

1872 年 7 月 23 日,一个美丽的夏天,在布卢瓦城附近的朗塞地方响起了爆炸的声音,周围 80 千米的人都曾听见,跟着就有一块陨星落下,重达 47 千克,距离一位牧羊人才 15 米,使他很害怕。这块陨星陷入地下 1.60 米。第二年 4 月 31 日在罗马附近也发生巨大的爆炸声,人们以为是天塌下来了,这是一块陨星的爆炸声,发生在早晨 5 时 15 分。1879 年 1 月 31 日在安德尔省登·勒·波里耶地方落下一块陨星,把一位种田的人吓昏过去。

1885 年 4 月 6 日在印度坚德布尔一个类似雷电的现象使居民们都很吃惊，他们看见被火焰包裹着的东西从天空落下，跑过去看，发现这东西已经陷进地下去，周围一切都被焚毁。像这样的例子实在很多，不能一一叙述了。

再说一下 1935 年 3 月 12 日早上 1 时，在波兰华沙的沃维奇西南发生了同样的有声和光的现象。继后找到 58 块石头，共重 59 千克（最重的一块是 10 千克），分布在 9 平方千米的地面上。最后再提一下 1908 年 6 月 30 日西伯利亚的陨石，那是近代最大的一群，已经在前面叙述过了。

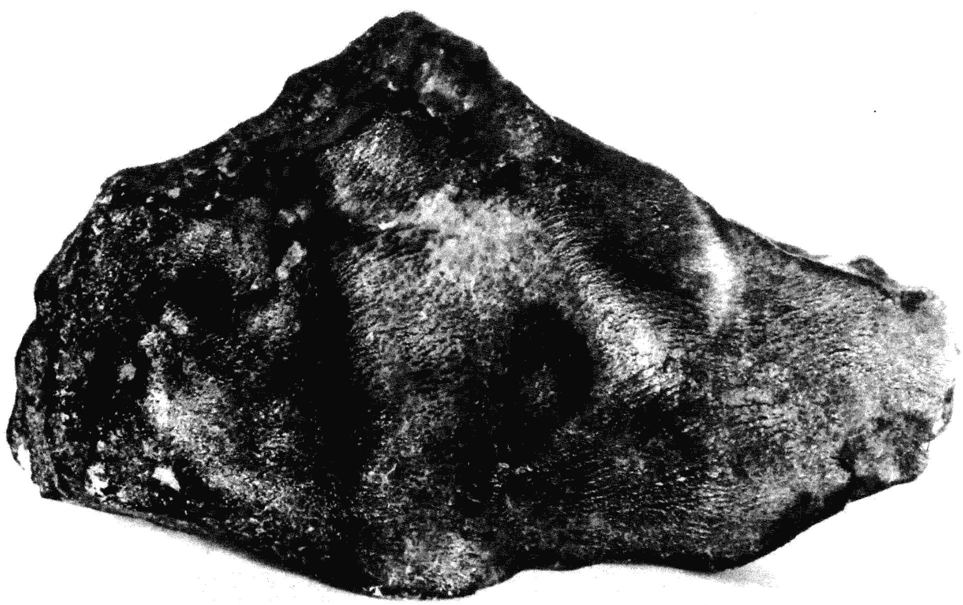


**图 548　在非洲贝雷巴坠落的陨星**
1924 年 6 月 27 日坠落，重 18 千克，表面熔化，有圆形孔穴。

有时我们看见陨石成群地在我们的大气里穿过。奥利弗在他的《陨星论》里（242 页）根据强特（Chant）和别的作者的记录，对于一次陨星群的坠落作了总结性的叙述。这是在 1913 年 2 月 9 日 9 时 5 分，一群流星，从萨斯喀彻温省的西方起，经过加拿大再进入大西洋，消逝在百慕大群岛的那一面。这一群流星只用了 7 分钟便越过了加拿大。据皮克林说这群陨星可能落在离他看见它们时所乘的船 1 100 千米以外的海洋里，这群陨星在空中飞越了 1 万千米。据推测这一群陨星里可能有 10 组，每组有 20～40 个成员。在加拿大某一个地方，这一群陨星前后花了 3.3 分钟才全部通过，相对于地心的速度是每秒 8～16 千米。据一位观测者的报告说，只是最前面的一块陨星爆炸了，别的都是整队而来，它们后

面都拖有长尾。人们听见远方的轰轰雷声,有些地方的地面也发生了震动。最奇特的事便是那里面的成员都走相同的轨道,因而是成群结队的。这样云雾状的流星,是很少看见的。

在地上找到的陨星,总像涂有一层只有几毫米厚的黑漆或者灰漆,这是由于陨星表面的熔融而来的。大多数陨星表面有圆孔,这是由于难熔的物质熔化后,受压力所压成的,有点像拇指按过的情况那样。

地球上各处所坠落的陨星的年代常不容易考证。在这些陨星中相当大的,我们叙述几个如下:

(1) 1866 年在智利沙漠里所找到的一块陨铁,重 104 千克。

(2) 1858 年 12 月 24 日在西班牙木尔西(Murcie)落下的陨石,重 114 千克。

(3) 1492 年 11 月 7 日在阿尔萨斯的昂西塞姆地方,在德国马克西米连一世(Maximilian Ⅰ)的大军前坠落的陨石,重 158 千克。最初放在礼拜堂内,继后移置于维也纳矿物博物馆。

(4) 1866 年 6 月 9 日在匈牙利尼亚西尼亚地方,随着一阵雷鸣巨响,有数千块石头坠落,最大的一块重 295 千克,总共重量约 476 千克。

(5) 1864 年在阿尔及利亚沙漠里所找到的陨铁,重 510 千克,高 44 厘米(图 549)。

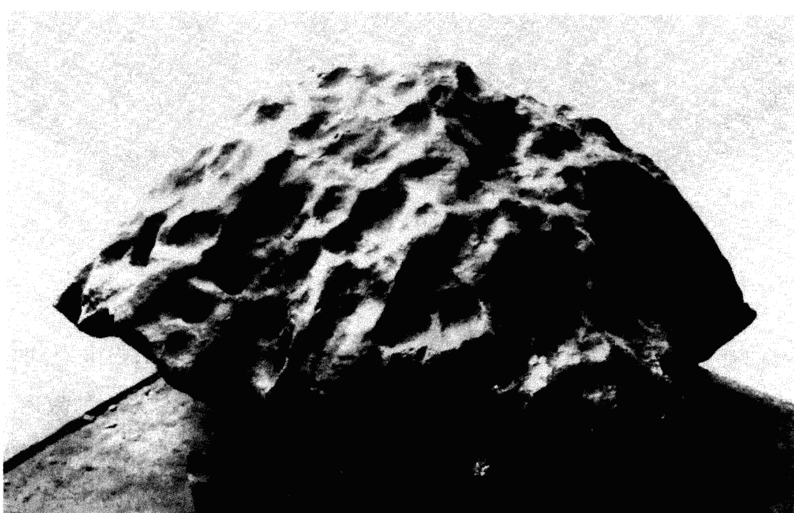


图 549 在撒哈拉地区的塔曼提特坠落的全铁陨星,重 510 千克,高 44 厘米

(6) 有一块陨铁,在不可考证的年代里就被当做卡伊(法国沿海阿尔卑斯省)礼拜堂门前的座凳,重 625 千克。

(7) 1788 年在阿根廷图库曼所寻得的陨铁,重 635 千克。

(8) 1749 年帕拉斯在西伯利亚找到一块陨铁，重 700 千克，被人取下几片，减轻到 519 千克。

(9) 1810 年在哥伦比亚圣罗莎所落下的陨石，重 750 千克。

(10) 墨西哥查尔卡斯礼拜堂里保存多年的陨石，重 780 千克，高 1 米(图 550)。

(11) 1869 年 12 月 25 日在姆尔祖克一群阿拉伯人附近落下的一块陨石，直径达 1 米。

(12) 1861 年在澳洲新金山所发现的陨石，两片共重 3 000 千克。

(13) 1816 年在巴西邦达果发现的陨石，重 5 360 千克，1886 年被人迁移到里约热内卢。



**图 550　查尔卡斯(Charcas)陨星**
1804 年在墨西哥寻到，重 780 千克，高 1 米(现藏巴黎自然历史博物馆)。

还有更大的，留在坠落的地方不能移动的陨星，例如在黄河发源地附近有一块重 1 万千克，高 15 米的陨石，当地人们把它叫做北方巨岩。据传说它是被一阵天火所送下来的〔在我国新疆北部(北纬 47 °，东经 88°)有一块很大的陨铁，重约 2 万千克，体积约为 2.42 米×1.58 米×1.65 米(共约 2.77 立方米)。文中所说的北方巨岩疑有误。——校者注〕。墨西哥厄尔莫利多的陨石重 1.1 万千克，阿根廷图库曼平原上的陨石重 1.5 万千克，俄勒冈州维拉默特的陨石重 1.6 万千克，墨西哥朱珀德洛斯的两块陨石共重 2.6 万千克，墨西哥巴库维里托的陨石重 2.7 万千克。最大的陨星是一群三块，发现于格林兰的默耳维耳湾，重 3.4 万千克，于

1895年被北极探险家皮里(Peary)移置于纽约自然史博物馆〔现在已知的最大陨星是非洲南部的一块大陨铁，重量在6万千克以上，现仍在原地。——校者注〕。世界许多博物馆，如巴黎、伦敦、柏林、维也纳、芝加哥、纽约、华盛顿、莫斯科等大城市的博物馆，耶鲁、哈佛、阿德贝尔特、阿默斯特等大学博物馆，以及墨西哥、日本各地均保存有不少的大陨星。古代的陨石因大气和气候的影响差不多都消失了。所遗留下来的，多半是陨铁，因为它们既易保存，也容易确认。在沙漠里还留下许多碎块，如智利的阿塔卡马、墨西哥的山谷里以及非洲塞内加尔河附近。但大多数陨星或埋藏在土里，或被林木掩盖，或埋在沙漠下面都看不见了。美国有些业余爱好者和探矿人合作，到处探寻陨星。

我们谈过陨星坑穴(在月亮篇内178图)。最大的一个当推美国亚利桑那州的陨星坑，这个大坑穴的来源是陨星所冲击成的，这是没有丝毫可以怀疑之处的，因为在它周围曾经寻找到成千上万的碎片，主要成分是铁，且含有7.3%的镍。最轻的不过几克，最重的达4 000千克。陨铁的总重量究竟是多少，颇难估计。人们设想这块陨铁陷进土里，曾用探矿的方法去测定它所在的位置。且有人组织一个开发公司去取回这块大陨铁，据估计它的重量可能达10亿千克。钻探井深入到214米，因突然浸入大量的水，工作被迫停止。拾到的陨铁标本中含有在显微镜下才看得见的黑金刚石和微量的铱和铂。1930年所采用的电磁法探矿，说明这一大块陨铁应该埋在地下210米深处。

我们说过陨星达到低层大气时，因大气骤然变密，受到很大的阻挡。莫兰(Maurain)为了知道陨星在大气里自由落下的极限速度，把一片寻常大小的陨星放在气体动力学院的风洞内去做实验。他求得几十克重的碎片的极限速度是每秒70米，对于像从飞机上扔下的炸弹那样长(1.8米)的一块，这速度是每秒420米。但是对于以每秒几十千米的高速穿入大气，空气的压力使它的表面炽热的大块陨星，要估计它的极限速度却很困难。它的碎片和地球相撞形成的结果，常用作表示这种现象的剧烈程度。这些碎片陷入泥土内不深，通常不过是几十厘米。

陨星的组织是矿物学的一个专门问题，由化学分析知道它的成分和地壳内常见的元素相同，即铁、镍、钴、镁、硅、氧、铬、锰、钛、锡、铜、铝、钾、钠、钙、砷、磷、氮、硫、氯、碳、氢等。

陨星的密度由3到8，所以比地球的外壳更密。陨星按所含的铁的多少分类。根据在巴黎自然历史博物馆对许多标本做过研究的多布雷(Daubrée)的分类，只含铁和铁的合金的叫做纯粹陨铁，同时含有铁和造成石块物质的叫做混成陨铁，一般是铁浆里嵌有橄榄石一类的石块，形状像火山石(图551)。还有一种是石浆内散布有金属的粉末，这种陨星到处都有，叫做普通陨石，其中含铁多的又称多铁陨星，含铁少的又叫贫铁陨星。最后还有



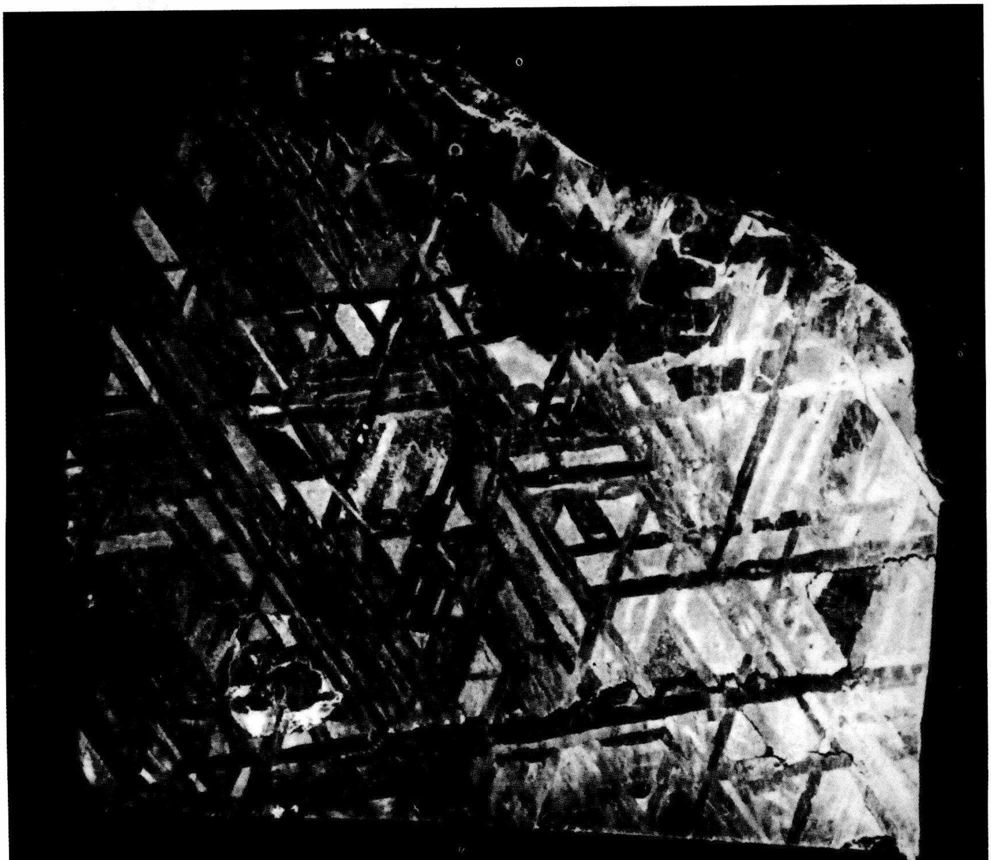
图 551 在北非欣盖提坠落的陨铁星，磨光面 16 厘米×9.15 厘米，重 4.5 千克。

一种不含铁的特殊陨星，叫做无铁陨星。

如果在纯粹陨铁上截下一片加以磨光，将磨光表面用硝酸侵蚀，其中有些部分不受影响。于是表面上呈现灰色的带子，旁边镶上明亮的条痕，叫做维德曼花样(图 552)。硝酸只腐蚀了夹在陨铁里的磷化铁薄片。

图 552 塔曼提特陨星

在图 549 那块陨星上取下一片磨光，加以硝酸处理，表现出维德曼花纹。这是八面形大晶体的美丽结构，大小如图所示。



还有一些别的分类方法。加利福尼亚大学教授兼陨星专家伦纳德(Léonard)将陨星首先分为纯粹石的、铁石混合的与铁镍混合的三大类，继后再分为7种大类型和32种小类型。这些从天上落下来的矿物，都有它们特殊的名称，例如含13%的镍的铁合金叫做白沸石，铁镍混合的叫锥纹石，一种含有小颗粒的镍的硫化铁叫硫铬陨石或橄榄石等等。

在地球上到处可以找到的一种天然玻璃，名叫铁毛矾石，现在有人说这和陨星有关，所以又叫玻璃陨石(图553、图554、图555)。其中一种玻璃片，名叫里扎耳石的是于1926年在菲律宾里扎耳省被发现的。这些天然玻璃形成的原因还不清楚。

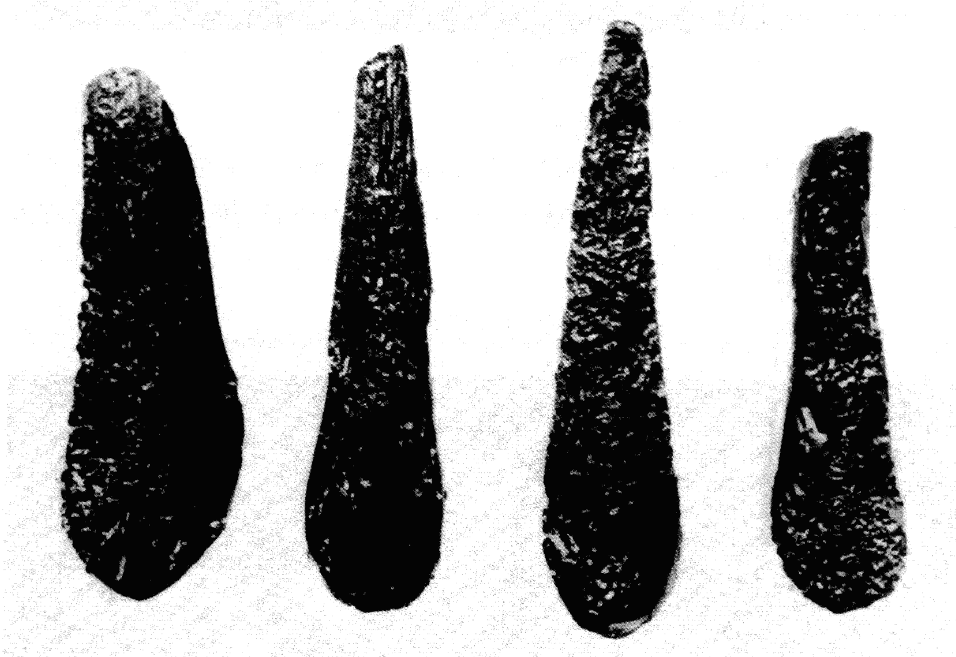


图553 印度的铁毛矾石，产在郎边，椭长形，与实物一般大

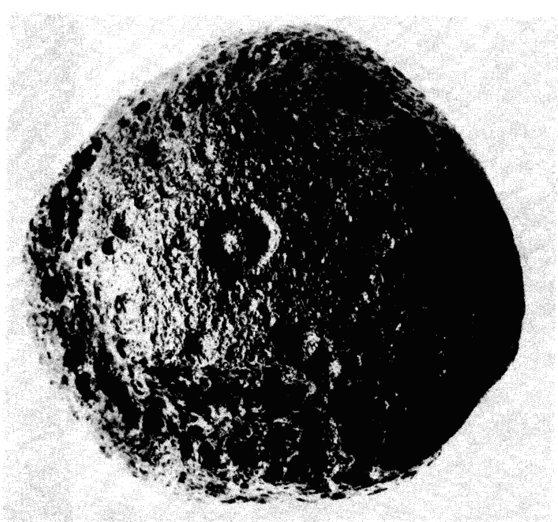


图554 象牙海岸的玻璃陨石，缩小为原物的1/3

陨星里也能找到地球上熟知的矿物，如橄榄石、辉石、顽火石、长石、灰长石、铬铁矿、磁性黄铁矿、氧化铁矿、石墨等。陨星里最丰富的三种元素为铁、硅和氧，也是地球上最常见的元素，这倒是值得注意的一件事。

另外一方面，我们从来没有在陨星里找到像地球外壳那样的层积现象。石灰、砂土、贝壳、化石这一类的东西在陨星里从来没有丝毫的痕迹。一切硅酸盐类的物质是组成地壳直到相当深度的岩石，在陨星里就不存在。

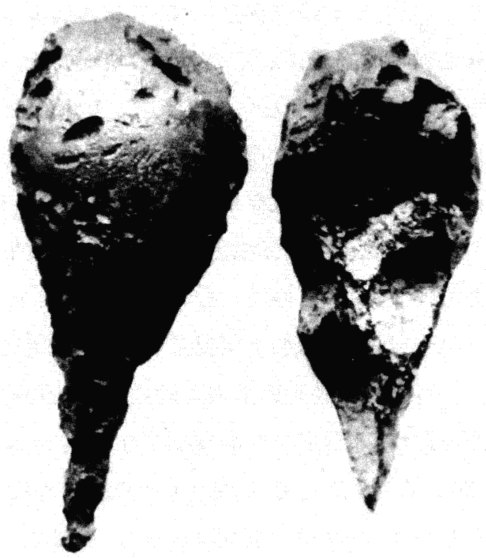


图 555 印度的玻璃陨石，产在郎边和汤海，放大 2.25 倍

从这些事实来看，一切陨石的碎片是从和我们地球演化绝对不同的天体破裂而来的。陨星的组成倒像我们脚下几千米的矿物和岩石，这些是构成地球内层的致密物质，除非由火山喷出或者由压力从岩脉间挤上来，否则在地面是找不着的。陨星和地下的一些岩石真是非常相似，所以多布雷说："地层下面的熔岩和一种陨星很相似，橄榄岩又和另外一种陨星相同，在这些岩层下面总找到很像一般类型的陨星的天然陨铁，愈到深处愈多，像陨星所含的各种密度的铁质。"

陨星和地球的深层岩的相似，还可举出一件奇特的事实。在相隔很远的时期里所落下的陨星，结构都是相同的。不管地区和时代相隔有多么久远，陨星的标本总是一样，不能分别。那么我们只有总结说这些陨星，虽非全体但大部分都有一样的来源，这来源像初期没有海洋和沉积岩的地球，像没有水和空气的月球和小行星那样。

有时在同一次坠落的陨星里也有不同性质的石块。例如 1773 年 11 月 17 日在西班牙的西日纳，1856 年 11 月 12 日在意大利的特朗扎诺同时落下的就有两种不同的石块，一种是 1852 年 12 月 2 日在印度巴斯提所落下的，另一种是 1857 年在印度巴马里所落下的。

多布雷以为陨星是在高温下所形成的一个或者几个天体的碎片，不止一位科学家想从理论角度去构成这些想象中的天体。这些落到地上的东西都很小，最大的很少超过 1 立方米，大多数都像一块可以放在手里的石头，或者像一个鸡蛋、核桃、榧子那样小的石

子，可是它们的组成都是一样的，和构成地球的矿物相同，在这种情形下，我们是不是简直就把陨星的来源说成是地球呢？根据计算，如果火山抛掷物质到空间里去，便应该使这些物质在空中具有每秒 8 000 米至 1 万米的高速度，那么它们才能沿椭圆的轨道运行。为了超过空气的阻力，这速度可能还要大些。但是如果这是事实，这些假想的火山能够把这些石块抛出，至今还保存得那样完好，而且数量又有如此之多，却是难以使人相信的事。有人也假想陨星是从月亮的火山、太阳或别的行星（木星）所抛出去的。这些假设本身的困难就很大，现在已经被人放弃了。至于认为陨星是从一个像有沉积岩以前的地球那样的行星中射出来的，那个假说虽有困难，却还能吸引人们的注意。

科学家曾经企图借陨星的放射性去测定它们的年龄。所有的陨星都含有很微量的天然放射物，即是由自发的衰变产生别的元素的物质。平均地说来，每克陨星含有 $10^{-7}$ 克（即一千万分之一克）的铀 I（原子量为 238）。这种铀的原子的一半在 45 亿年发生衰变，先造成铀 $X_1$ 和氦。衰变继续进行，最后的产品是稳定的铅。这些衰变的每一个过程都需要严格不变的时间，这已经由实验确切测定了的，而且它们不受遥远年代的化学变化、温度、压力等因素的影响。所以在每块陨星内铀和它的衰变生成物之间有某一种放射性的平衡。衰变生成物和铀两者之间的分量总是保持一定的比例。在这一系列的衰变所产生的有某一种原子量重的惰气（名叫氡）的情形之下，我们可以定量地把它和陨星分开，由它在衰变时使气体电离的效应精确地测出它的分量，氡的半衰期是 3.8 日。最后铀 I 和镭的分量可以从和它们关联的氡求得。这便是所谓射气法的原理。这种方法的灵敏度很高，即使 $10^{-8}$ 克的氡的分量，亦可测得。由各种标本分析的结果，求得陨星的年龄比地球上最低层的火成岩稍微年轻一点。

至于陨铁的年龄，我们根据它里面的从钍到氦的衰变去测定。因为氦难于抽出的缘故，所以测定的数字不大精确。事实上标本热至 1 000℃，才可以获得 5%的气体。做这样测定的巴内特（Paneth）教授，对于 23 个不同的标本，得出相差很大的年龄，它们可以从 1 亿年到 28 亿年。我们不敢说它们形成的时代真有这样大的差异。

这一位物理学家最近分析卡尔波陨铁中的氦含量，证明愈近陨铁中心，氦的含量愈少，而且这种元素有原子量为 4 与 3 的同位素。这样的情形下，氦可能是由宇宙线的作用而来的。所以要求得到更可靠的结果，还须作新的研究。

远古以来，人类便使用陨铁。陨铁虽然是铁镍合金，而且含有少量的钴，但它既坚硬而且容易制成钉锤。我们在古埃及和美索不达米亚地区的发掘中找着这样的陨铁钉锤。从迦勒底地区所发现的一把匕首，据考证是公元前 3000 年的制成品，由化学分析得知它

含有10%的镍的铁合金，来源是陨星。公元前几千年时，人们在未经开发的地区努力寻找陨铁，因为他们很想从此得到纯的金属去制造宝贵的武器。许多时代以来，人们以为陨铁具有特殊的品质。在阿拉伯、蒙古、格林兰等地区，直至19世纪，人们还把陨铁用来制造腰刀、匕首、箭头、斧子等武器。

假使地球上没有大气，地面便会像月球那样，受到高速而来的陨星的轰炸。由轰炸而来的灰尘将会盖满地面。现今有不少的人想设法乘火箭离开地球，到星际空间去旅行，至少也要到月亮上去一趟，可是不要忘记他们一旦脱离保护我们的大气，就会遭到陨星的攻击。这些物体之间的距离很大，它们的质量又很小，在宇宙飞船那样小的面积上会遭到危险的碰撞的可能性自然很小很小。但是总不敢保证是绝对安全的，特别是宇宙飞船穿过数以亿计的固体质点的流星群时，的确不敢保证。我们认识了穿过地球轨道的流星群，但是还有那些在地球轨道之外穿过黄道面的流星群，我们就一无所知了。它们的数目和大小，我们没有丝毫概念。也许有预料不到的结果，如像由雷达所表现的很密的白昼流星群那样。总之，流星群对于星际航行者是一种危险的暗礁。

美国海军研究所的伯赖特(Burnight)在$V_2$型的火箭上装上光滑的金属片，降落后发现那上面有显微镜下才看得见的小坑。在这样装配的一个火箭上，达到40千米上空的时候，由声音的记录得知平均两秒钟有一次这样细微的陨星碰撞。这些小东西对于火箭不至于有害。可是就加利福尼亚大学伦纳德教授估计，每天落到地面上来的这样的小陨星有60万千克，这数字和汤姆孙与范·德·胡斯特所得的结果是符合的。

**黄道光**　天空的这个现象，是可以和陨星联系在一起来加以研究的。黄道光是一大片亮光，像透镜一样包围着太阳，横卧在黄道平面上，远远超过地球轨道之外。黄道光是一圈微光沿着黄道从很黯淡的对日照起一直达到方向与之相反的太阳。

因为黄道光很微弱，所以要研究它的光谱是很困难的。代替的方法是用透过具有光谱中各色的滤光板去测量它的强度，这一切观测都得用很灵敏的仪器去照相。观测的结果说明这一条灰白色的微光，是由无数质点对日光的漫射而形成的，这些质点形成一个巨大的集团环绕着太阳，每一颗粒子受到它的吸引，并在受到或多或少的摄动的轨道上运行。

黄道光显然受到了偏振化，这就表明黄道光是从稀薄的气体分子上漫射而来的。但是这样的分子或者原子，应当在短时间里，被日光的压力所排斥，像彗星的尾巴一样。有人计算形成黄道光的物质，分量是很微小的。如果这种物质的粒子直径是1毫米及反射率等于月面上的物质那样，在每8千米的距离处，只需有1粒就够了。如果它的直径是3米，它们相隔的距离，平均可达16万千米。这些小物体应受太阳辐射的影响，1903年坡印

廷已经预料到这点，1937 年罗伯逊(Robertson)更加以证明。这些质点因在空间受太阳的热和光，它们和太阳的平均距离逐渐缩短的时候(粒子愈小这距离缩短得愈快)，它们所走的轨道，不是闭合曲线，而是螺旋线，渐渐接近太阳，终至坠落到太阳上面去。一粒半径 1 厘米的陨星从地球出发，需要 2 000 万年才能走完这螺旋线，从而达到太阳。因此自二三十亿年前以来，早已没有这样小的粒子，剩下的都是相当大的物体了。

但是，像惠普尔的看法那样，这一大群粒子经常有外来成分的补充，也一样是可能的。彗星因失掉它凝冻彗核里所放出的质点，而形成流星群，这假设我们已经谈过有它的优点。由于坡印廷-罗伯逊效应，这些粒子慢慢坠落到太阳表面，但是不断地得到彗星的补充。这样就在失与得之间造成了动态的平衡。据计算证明，如果粒子的直径是 1/10 毫米的数量级，这样的平衡是可能的。

上面概括叙述的黄道光的流星理论，还没有得到天文学家的一致公认。事实上黄道光的现象，在形态、范围、亮度上每天都有显著的变化，它的光线偏振化会增加很多。多怀利耶(Dauvillier)在日中峰天文台的晴朗天气里，研究了十几年黄道光，他却采取汉斯基(Hanski，1905)所倡导的、白克兰(Birkeland，1911)所阐明的电性的假设。他说黄道光是日冕的扩大，是自由电子气所组成的。电子也能漫射各种波长的辐射，并使其偏振化。因受太阳磁场的导向作用，黄道光形成扁平透镜的形状，随着太阳活动与日冕形态而发生强度上的变化。黄道光伸展到地球的轨道上，并且超越过去，以造成对日照，这种假设显然不排斥在相同的区域里有陨星存在的看法。

# 第六篇 恒星宇宙

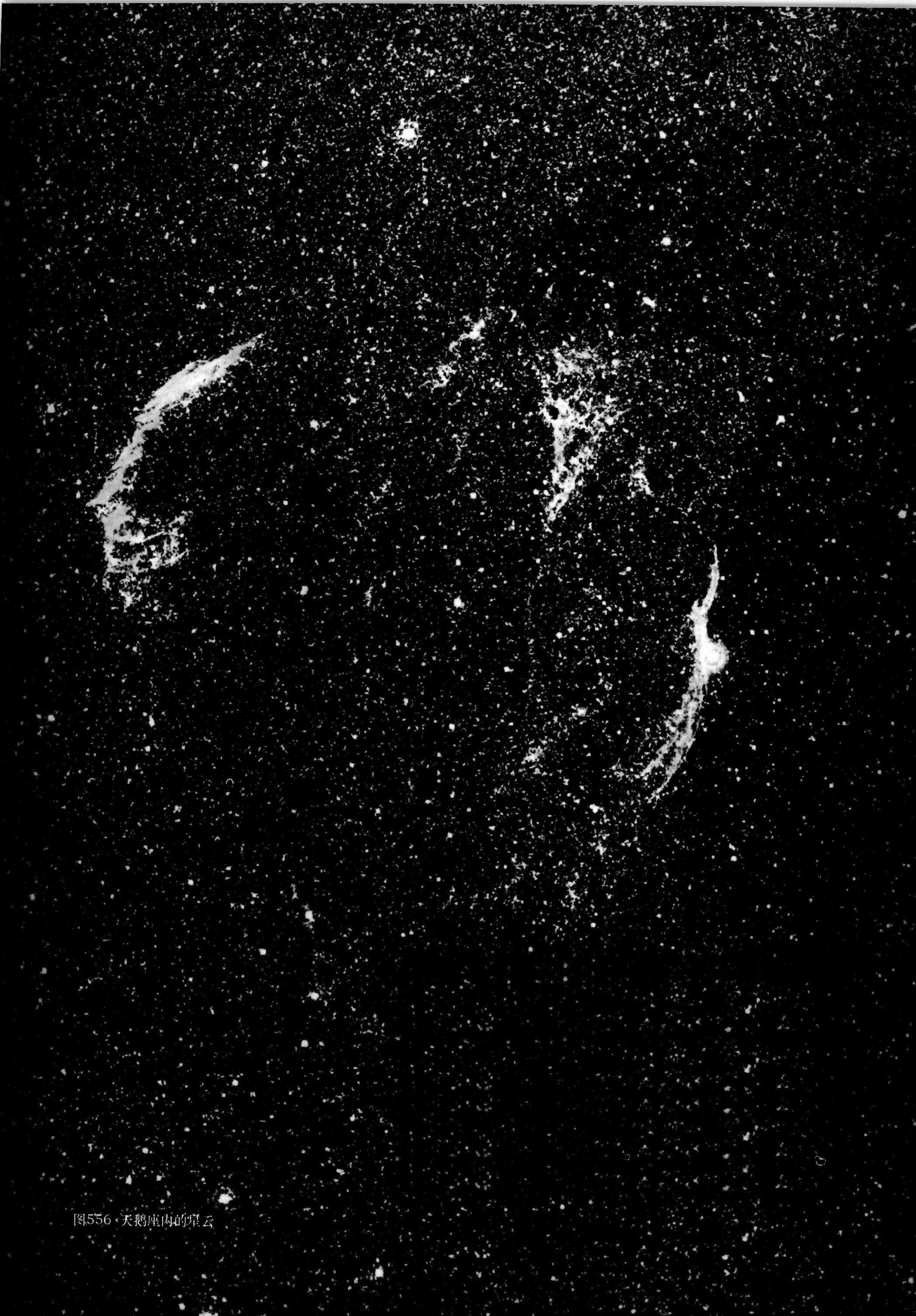


图556 天鹅座内的星云

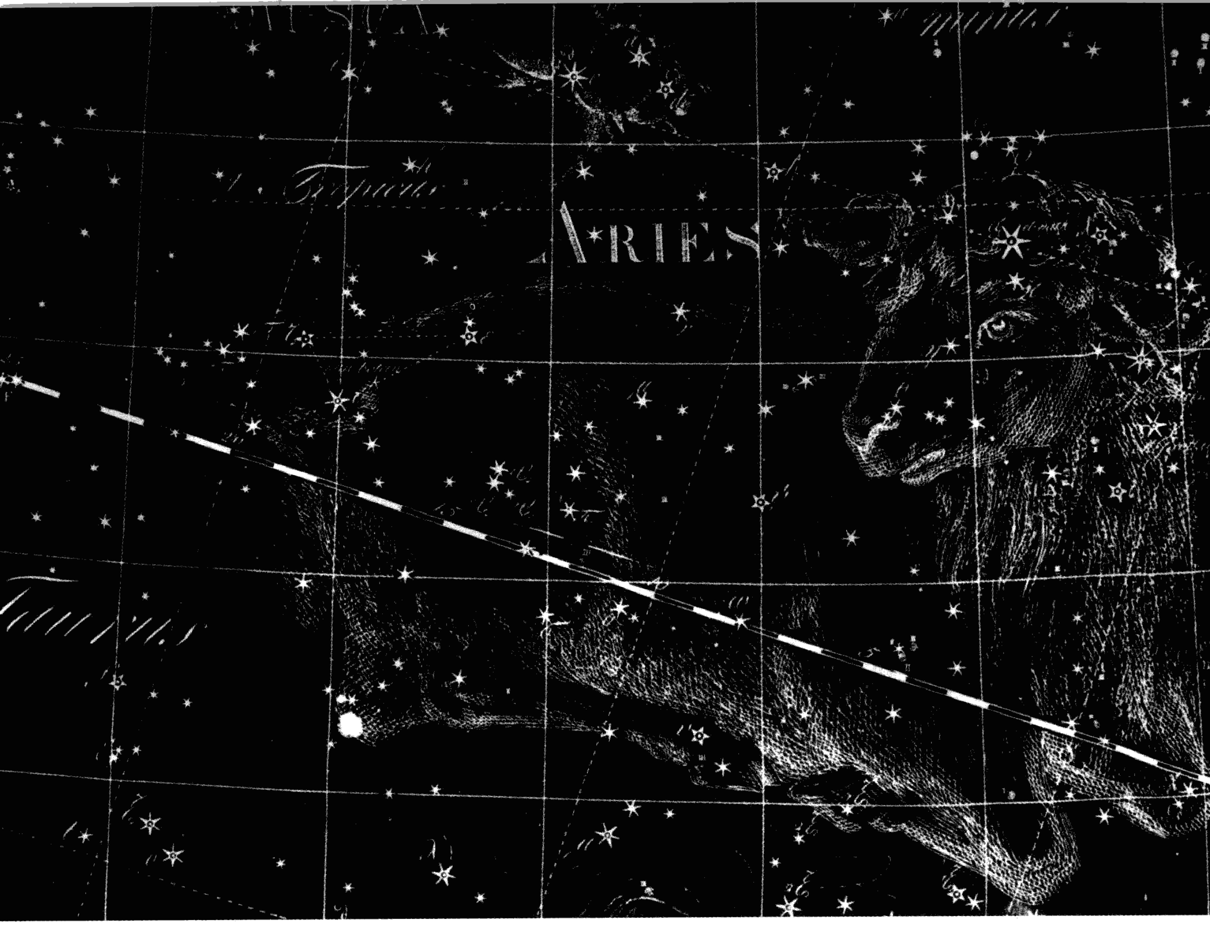



图 557 白羊座

取自波得于 1801 年所出版的《天文学》，图中有白羊座和现在已经取消了的苍蝇星座。

# 第三十九章

# 星　　座

自古以来，人们望着夜晚繁星密布的天空，没有不感到惊奇的。天空的情况随时间、季节而发生变化，但是，这种变化只是表面的现象。

星星在天球上占有固定的位置，由于地球在空间里运行，使我们感到好像整个天球在移动。我们的祖先以为星星的固定是它们的一种特性，因此稍微古老一点的文献里，都在

“星”字前冠上一个“恒”字，把星星叫做“恒星”。

现代的天文学证明这种恒定性不是绝对的，但在个人的一生里，甚至在人类有历史的时期里，都可以把星星当做是固定不动的。

在星星所组成的形态上，人们为了辨认它们，把它们组成的图形叫做星座。由星座的名称使我们联想到它们的形态。许多观天的人都很容易认识黄道星座内的天蝎、金牛与它的眼睛(毕宿五)，而且不太需要想象的帮助。可是，大熊座很容易使人联想到一只长尾的狗或者一把长柄的斗。从前的画家们常用丰富的想象力去描绘星座所代表的神话人物，用来装饰天穹。

星座命名的历史是复杂的，在基督教的《圣经》里有了一些叙述，如《约伯记》里曾经谈到大熊、昴星团和猎户等几个星座。公元前4世纪，希腊天文学家欧多克索斯(Eudoxe)已经把北半球大多数的星座叙述过了；著名的喜帕恰斯〔旧译伊巴谷。——译者注〕还描绘了其他星座。至于南半球的星座，当然是只有在航海者看过了南天之后，才加以命名的。1603年巴耶(Bayer)、1690年赫维留、1752年拉卡伊(Lacaille)先后在两个世纪内为南天的星座命了名称。

天文学家常用希腊字母为星座里的星星命名。α代表最明亮的一颗，β代表次亮的，依次是γ、δ、ε等。有时，因为别的缘故，也并不是一定按这样的次序命名，例如大熊座里最亮的星是ε，而不是α。这样的命名法是不方便的，而且不能容纳很多的暗星，以后我们会说明什么才是星的最妥善的命名方法。

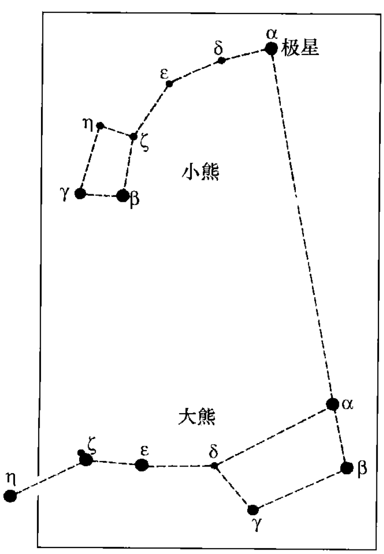



图558 北斗和北极星

有一个星座是大家都认识的，为简便计，我们就从它出发，把它当做标志去寻找别的星座。这个星座就是大熊，又名车星〔我国把它叫做北斗。——译者注〕。

大熊座是很著名的。可是有少数读者也许还不认识它，在我们这样纬度〔这是指北纬40°和40°以上的地方说的。——译者注〕的地方，总是看得见它的，让我们来介绍一下：

你把身子面向北方，也就是和正午太阳相背的一方。不论在一年中的哪个季节，每月里的哪个日子，每个夜晚的任何时刻，你总是看得见这七颗亮星组成的巨大星座，其中四颗形成一个四边形，这七颗星的分布情况表现在图558里。

你们不是都曾看见过它吗？这个星座永远也不会下山去。不论昼夜，它总在北方的地平线以上缓缓地转动，在24小时里围绕着一颗星运行一周，这颗星我们下面就要谈到。如果认为它是大熊的形象，那么末端三颗星形成它的尾，另外四颗组成的四边形，是它身体的一部分。如果认为它是车的形象，那么四颗星形成四个车轮，三颗星形成一条系在辕木上的三匹马或三头牛。在这三颗星当中的一颗(ζ)附近，有一颗小星叫做辅星，它代表着一位赶车夫。这颗小星是不是可以看见，很可用来测验我们的眼力。标示这七颗星的希腊字母是这样的：α和β代表方形一边的开始两颗，γ和δ是对边的两颗，ε、ζ、η顺次表示辕木上的三颗〔北斗七星的中文名字是天枢(α)、天璇(β)、天玑(γ)、天权(δ)、玉衡(ε)、开阳(ζ)和摇光(η)。——译者注〕。这些星都有阿拉伯的名字，除了第二匹马(ζ)名叫Mizar(中文名为开阳)和它的伴星名叫Alcor(中文名为辅星)以外，其余的因不常使用，我们就不说了。

拉丁文把耕牛叫做triones。罗马人不把大熊座看做一车三牛，而把它叫做septemtriones(七头牛)。于是转变成septentrion(北方)这个词，现今我们写这个词的时候，无疑很少有人知道他们讲的是七头牛。

我们再回来看看上面所说的那个图形。如果把方形上α和β两颗星连成一条直线，向α那面延长到由β至α的距离的五倍远处，或者说，延长由α到η那样长的距离，我们便可找到另外一颗稍微暗一点的星，它是在和大熊相似的图形的末端，这张图形比起大熊小一些，位置却和大熊相反，叫做小熊或者小车，也是由七颗星所组成的。我们刚才用连线的办法所找着的那颗星，在小熊的尾端，或者说在小车的辕稍的那颗星，叫做**北极星**。



**图559 天上的星星以极点为心走圆弧的轨迹**

离极点愈远的星所走的弧线愈长。所有的星都走圆周上相同的一个分数：这张照片露光1.5小时，弧长1/16圆周。圆顶室内照明1秒钟，以增加照片的效果。

北极星负有盛名，好像群星中的领袖一般，因为在黑夜繁星闪烁的天空里，只有这一颗星像是固定

在天穹上。所有的星都环绕着它运行，每 24 小时运转一周，它就像是这巨大旋涡的中心。北极星固定在世界的极点上，作为海洋上船只、沙漠里旅客行动方向的指南。

眼睛望着天穹北方高空里的北极星，所有的星都围绕北极星，沿着逆时针的方向转动，我们要辨认这些星星，就要从它们之间的相互位置，而不应从它们和四方（东、南、西、北）的关系来确定。照相可以把这些运动记录在底片上。图 559 是在法国南方天文台用通常的照相机所拍摄的，露光大约有 1.5 小时之久，每颗星扫过了它周日运动圈的 1/16。在这幅图上我们可以看见北极星并不恰在极点上面，它绕着天上的真正极点描绘成一个小圈，这圈的半径是 1°，约等于月亮直径的两倍。

前面（第一篇第四章）我们说过，有一颗 11 等的星比北极星还要靠近极点。1930 年它离极点最近，只有 5′，以后它便离开了。

相对于大熊座，在北极星的那一边，我们可以立刻找到另外一个星座（图 560）。如果从大熊当中的一颗星（δ 即天权）出发，引一条线到北极星，再把这条线延长一倍，我们就到了仙后座，其中主要的五颗星，分布像一个 W 字母的形式。有时它也像是 M 字母。因为这一群星环绕着极点，会经历一切可能的位置，时常在大熊的对面，时而在上，时而在下，时而在左，时而在右，总不落下山去，容易被人认识。北极星便是这两个星座运转的枢纽。

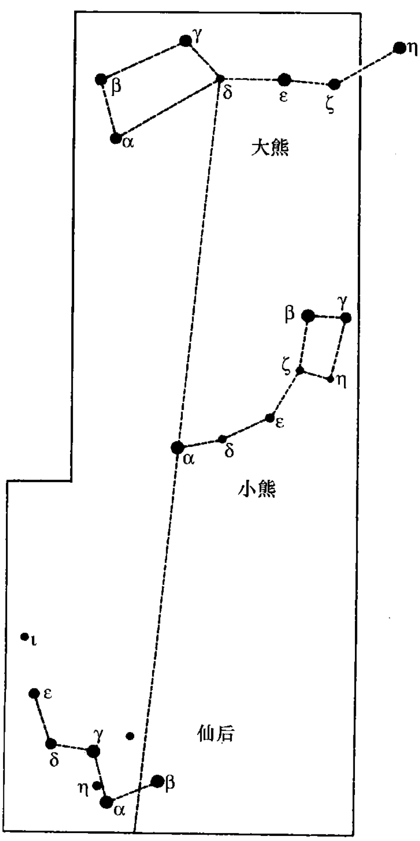


图 560　大熊、小熊和仙后

如果我们从大熊的 α 和 δ 两星引两条线到极点，而且把它们延长到仙后座以外去，这两条线便到了正方形的飞马座，后者也拖着一条由三颗星形成的辕木，和大熊很相似（图 561）。这三颗星属于仙女座，顺着它们延长，便到了英仙座。

我们在图 561 里可以看见，飞马正方的最末一颗星是仙女 α，其余的便是飞马 γ、α 和 β。仙女 β 之北，在一颗小星附近，有一个椭长的星云，可用肉眼看见。将仙女座的主要三星 α、β 和 γ 连线延长，便到了英仙 α，它夹在两颗较暗

的星的中间(图 562)。这几颗星的连线形成一条易认识的凹弧,又可以借此去找别的星座。把这条曲线从 δ 星那一方面延长,便碰见一颗很明亮的 1 等星,这就是御夫座的小羊〔中文名五车二。——译者注〕。和这段延长线正交的曲线向南面去,便到了昴星团。距离这里不远处便是有名的大陵五变星,它的光亮常在 2～4 等星之间变化,周期是 2 日又 21 小时。以后我们还要谈到这类奇特的变星。在这一星区里仙女 γ 是一颗最美的双星,在大望远镜里它以三联星的姿态出现。

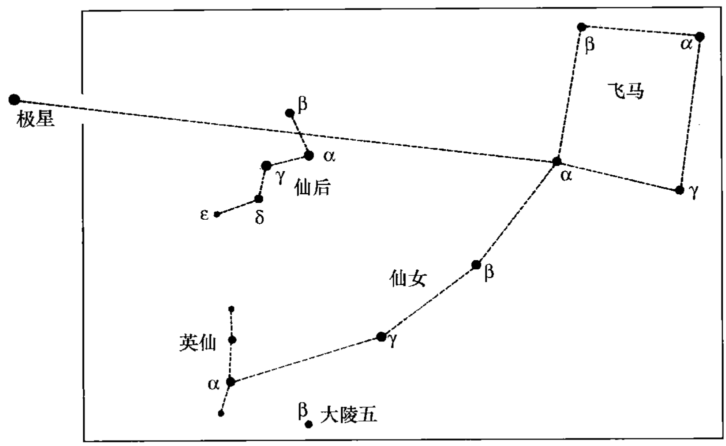



图 561　仙后、仙女、英仙和飞马

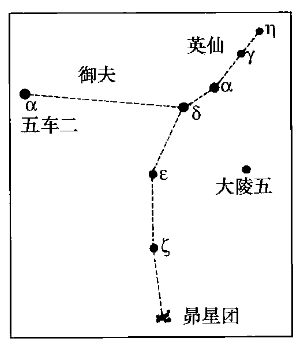



图 562　英仙

如果我们把在仙女座里所连的曲线延长到飞马的另一方去,我们便到了银河,在银河里便可看见像一个十字的天鹅星座;还有天琴座,其中的亮星是织女;以及天鹰座,其中的亮星是牵牛(河鼓二),在牵牛两旁还有两颗暗星(图 563)。

我们再回到大熊座去。按着大熊的尾巴的曲线延长,我们碰见一颗 1 等的亮星即大角或牧夫 α 星(图 564)。在牧夫座之左有一团星星所组成的圆圈,叫做北冕。1866 年 5 月间有一颗明星出现在这星座之内,只亮了 15 天就不见了;1946 年 2 月这颗客星又出现,这第二次的爆发曾使它变成 2 等星。牧夫是五角形的星座。这五角上的星除了大角是金黄色的 1 等星之外,其余四颗都是 3 等星。大角下面的 ε 星是双星,这就是说,这颗星在望远镜里被分析为两颗,一黄、一蓝。

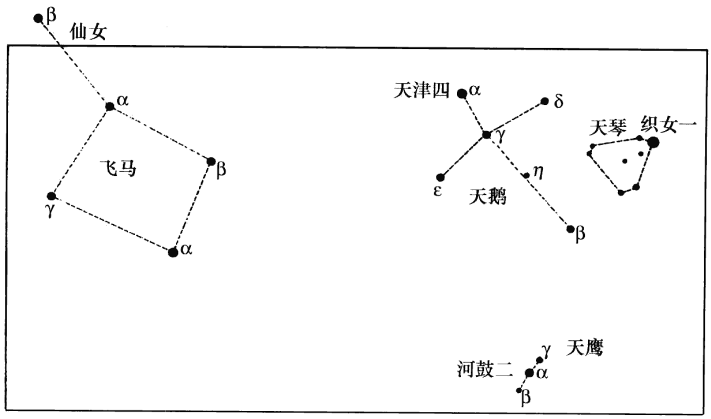



图 563 天鹅、天鹰、天琴和飞马

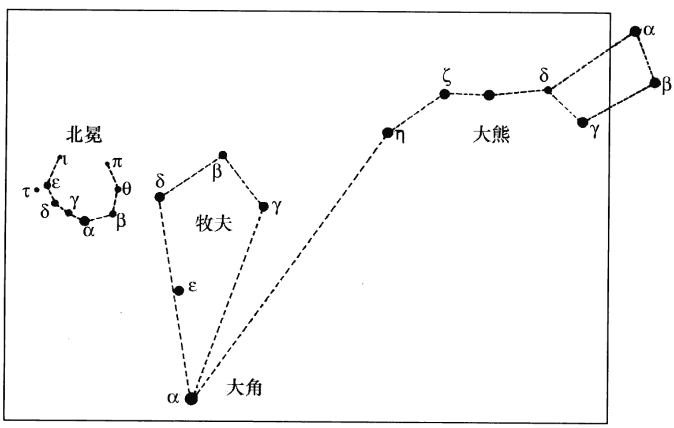



图 564 北冕、牧夫和大熊

上面从科学的角度去描写星座，好像是破坏了自然界的诗意，但是，这里所需要的是明白和确切。在一个繁星满天的晴朗之夜，我们抬头仰望，该想到我们所要认识的这些光点，每颗都是一个世界或者自成一个体系的世界！且看这等边三角形上的三颗亮星：天琴座的织女星，牧夫座的大角星以及北极星，它们都是三颗很重要的太阳。1.2 万年以后我们的子孙后代将看见织女星在北极，控制着一切天体的旋转。在北极附近以拱极星得名的星星都被描写在以上所说的星座里了。读者们最好利用几个美丽的晴夜练习认识天上这些星座。辨认的方法是利用引线的方法。

按着次序我们现在该谈到黄道带的十二个星座，黄道是沿天的一个大圈，和赤道相交大约成 23°的角，也是太阳在天球上运行的中线。黄道的西文是 Zodiaque，从希腊字 Zôov（兽）转化而来，直译为兽带，因为这一带上的星座，主要是动物的形象。这环天的大圈分

为十二部分，叫做黄道十二象，因为太阳每月在其中的一象内，所以这十二个星座又叫做太阳的十二宫。拉丁诗人奥索尼乌斯（Ausone）歌颂地球的周年运动，著有两联诗说明了太阳在这十二象里运行的次序。这两联拉丁诗句，现今的西方人还能背诵〔我们将黄道十二星座写成这样的诗句：白羊金牛道路开，双子巨蟹跟着来；狮子室女光灿烂，天平天蝎共徘徊；人马摩羯弯弓射，宝瓶双鱼把头抬；春夏秋冬分四季，十二宫里巧安排〕。

这十二象便是：白羊、金牛、双子、巨蟹、狮子、室女、天秤、天蝎、人马、摩羯、宝瓶、双鱼。

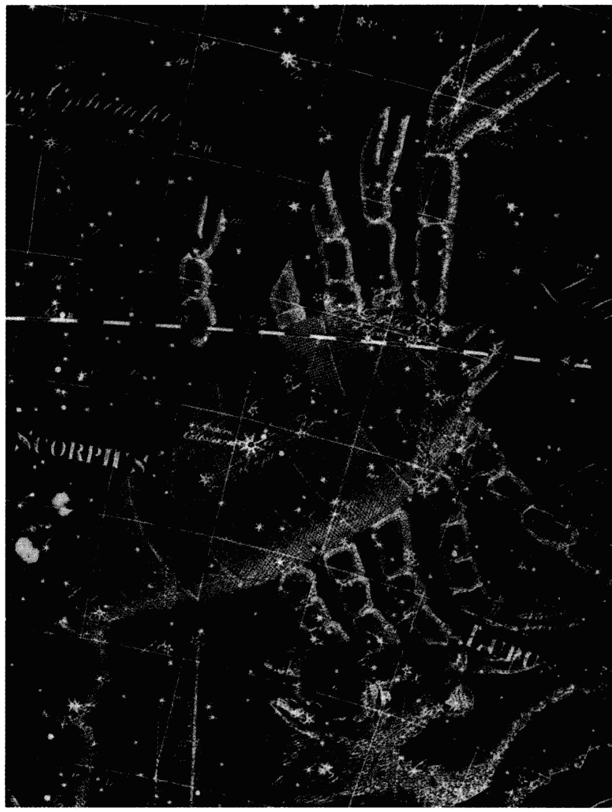



图 565　天蝎座

波得《天文学》中的木刻图。绘图的人想按星的次序描绘天蝎的尾，但这仅出于绘图人的幻想，星座的界限以点线表示，注意这些点线是弯曲的。

如果我们能够辨认北天上重要的亮星和它们彼此间的关联，便不会把它们混淆，我们也就容易进一步去认识黄道星座。黄道带可以看做是南北两区的界限。

现在我们略谈一下黄道上的星座。白羊座在这一群动物的前面开道，这个星座里并无显著的亮星，最亮的一颗星在羊的一角根处，只是一颗 2 等星（图 557）。这个星座命名为羊是不很合适的。白羊座以后是金牛座。在冬季晴朗的夜里，我们可以欣赏这个星座附近闪烁的昴星团。这个星团附近有一颗耀眼的红星，它代表金牛座的一只眼睛，名叫毕宿五，是北天中一颗最美丽的 1 等星（读者可同时参看复制的图 566，黄道星座）。我们现在来谈双子座，双子座的头被两颗 2 等明星标出，位置在一颗名叫南河三或小犬 α 的 1 等星的上边一点。巨蟹座是一个很不显著的星座，分布在这个动物身躯上的星，最亮的也只是 4 等。狮子座是一个美丽的星座，有一颗 1 等星（轩辕十四）和几颗 2～3 等的星，分布成梯形。室女座有一颗最明亮

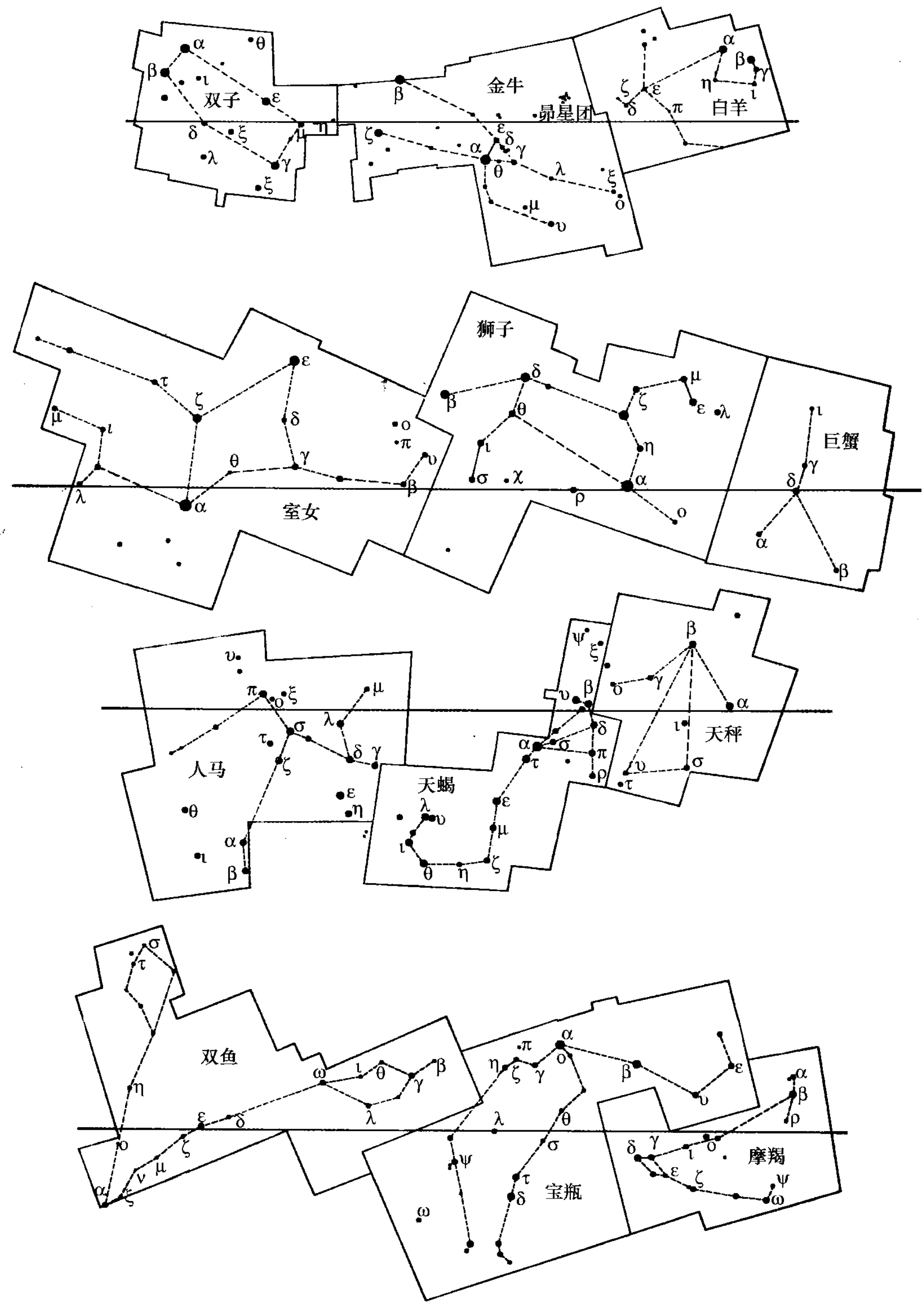



图 566 **黄道星座**

中心线代表黄道，星座的界限是现在公认的。

的星(角宿一),它在大熊座尾巴的延长线上、大角星的附近。天秤座有两颗 2 等星,很像双子里的两颗星,只是中间的距离长了一些。天蝎座是一个引人注目的星座,在两颗 3 等星之间,一颗红色光亮的 1 等星(心宿二)标志出天蝎座的心,上面有三颗形成冠状的亮星。心宿二是我们所认识的一颗巨星,它甚至可以把火星的轨道都包含进去。人马座用三颗星所组成的箭,瞄准着天蝎座的尾巴。摩羯座是一个不大显著的星座,它有很接近的两颗 3 等星,形成这个动物的角根。宝瓶以三颗 3 等星形成的三角形为标志,最北的一颗正处在赤道上。双鱼座里无明亮的星,位置在我们说过的飞马座大正方形的南边。

我们刚才按日、月以及行星经过黄道的次序,即由西向东叙述了黄道星座。

黄道星座在许多古代民族的历史上,如历书的编制、节日的规定、时代的划分上,都起了很大的作用。

在黄道星座里,唯有金牛座在古代的神话里起过重要的作用,在这星座里闪烁发光的昴星团,曾被许多古代民族作为规定他们年岁和历法的依据。

如果读者按照我们的描绘去看星图,你们便会像认识北天星座一样去认识黄道星座。全天重要的星座我们已经都谈过了,但是还有一点需要加以补充和说明。一年里不论什么时候,我们抬头仰望,拱极星总是在地平线上面,只需我们面向北方,就可以看见这些星在北极星上面或下面,左面或右面,总是保持它们彼此间的关系,使我们很容易辨认它们。可是就这一点而论,黄道上的星就不相同,它们有时在地平线之上,有时在地平线之下。所以,我们就应该知道什么时候它们可以被人看见。为此,我们只需说出每月一日晚上 9 点钟哪个星座在天空正中,即从天顶引向南鱼座的一条线上,我们以前曾经谈过这条线叫做子午圈。所有的星从东到西,就北半球来说观测者如面向南方,星就从左到右,每天经过子午圈一次。读者们可以根据下面的指示去看我们的天图。在 1 月初 21 时过子午圈的星座,在 2 月初便

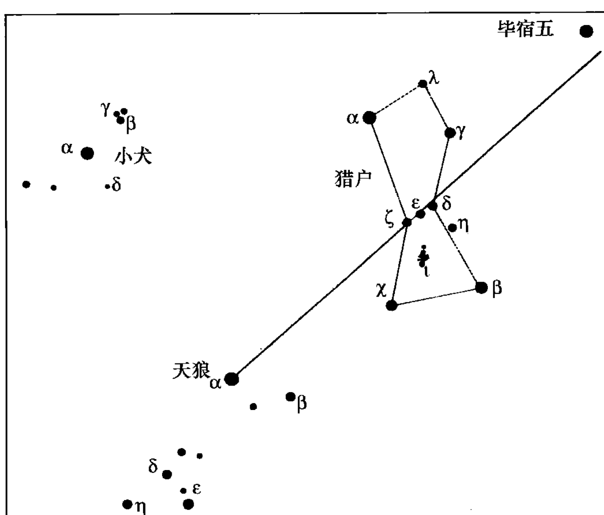



图 568　猎户座、大犬座和小犬座〔图 567 已被删去。——译者注〕

在19时经过，每月提早两小时。

1月1日21时金牛座过子午圈，同时请注意看毕宿五和昴星团。2月1日双子座还在子午圈的左边一点。3月1日双子座的两颗亮星（北河二与北河三）过了子午圈，小犬α星（南河三）在南，巨蟹座的小星群在左。以后过子午圈的是：4月1日是狮子座和它的亮星（轩辕十四），5月1日是狮子β星（五帝座一）和后发座，6月1日是室女座的角宿一和大角星，7月1日是天秤座和天蝎座，8月1日是心宿二和蛇夫座，9月1日是人马座和天鹰座，10月1日是摩羯座和宝瓶座，11月1日是双鱼座和飞马座，12月1日是白羊座。

我们对于星空的总的描绘，必须在介绍了南天星座以后才算得上完全。我们试看一下冬夜的天空（图568）：在金牛座和双子座的下面，在赤道之南，你可以看到那巨人猎户向着金牛座的额头方向高举起他的棍棒。猎户座有七颗亮星分外地光明，其中的两颗α和β是1等星，其他的五颗是2等星。α和γ代表双肩，χ代表右膝，β代表左膝，δ、ε、ζ代表腰带。这条直线（腰带）下面有一团光亮的雾气，中间有很接近的三颗星，这是佩剑。用双筒镜可以看出，中间的一颗星沉浸在一团弥漫的星云气里，这就是猎户座里的大星云。在西边肩头和金牛座之间便是猎户座手持的盾，是一串小星所组成的。猎户座的头是以一颗4等小星λ代表。

在冬季晴朗的夜里，你若面向南方，便可以立刻认出猎户座这个伟大的星座。α、γ、β、χ四星在四边形的四角上，其他三颗星δ、ε、ζ斜放在四边形中，紧密连接成一条直线，有人把它们叫做三王。东北角的α星，中文名参宿四；西南角的β星，中文名参宿七（图569）。

代表腰带的那条线向两端延长，在西北方经过我们已经认识的金牛座的眼睛毕宿五；在东南方经过天空上最亮的天狼星，关于这颗星，以后我们还要谈到它。

冬季晴朗的夜晚，天一黑，猎户星座便在我们的头上闪闪发光。别的季节都没有冬季那样，满天点缀着美丽的星辰。天上的奇景：从东方的金牛座、猎户座，直到西方的室女座、牧夫座。整个天空中计有18颗1等亮星，从21时到半夜，人们可以看见12颗之多。此外，还有一些2等亮星和引人注目的星云。猎户座里不但亮星很多，而且对于初学的人来说，还有着许多不是别的星座所能比拟的奇特现象。在猎户座的东南，在三王星连成的那条直线上，有一颗天空中最明亮的星，名叫天狼，即大犬座的α星。天狼星处在一个大四边形的东北角，这四边形的底边挨近巴黎的地平线。大犬座于1月初半夜过子午圈，所以它自10月至次年4月都可看见，起初出现于黎明的东方，最后沉落于黄昏的西方。大

犬座在古代埃及人的天文学里，曾起了很大的作用，因为他们利用这个星座来规定历法。天狼出现于东方的曙光里，预兆着尼罗河泛滥时期将到，随它而来的是夏至、大暑以及寒热病的流行，这是有名的天狼期（即三伏期）。3 000 年来，岁差已经使天狼的出现期退后了一个半月，到了今天，天狼已经不能预兆什么了，对于过去的以及未来的埃及人不能表达任何意义了。但是以后我们会了解，这颗星将给我们揭示出恒星宇宙的伟大。

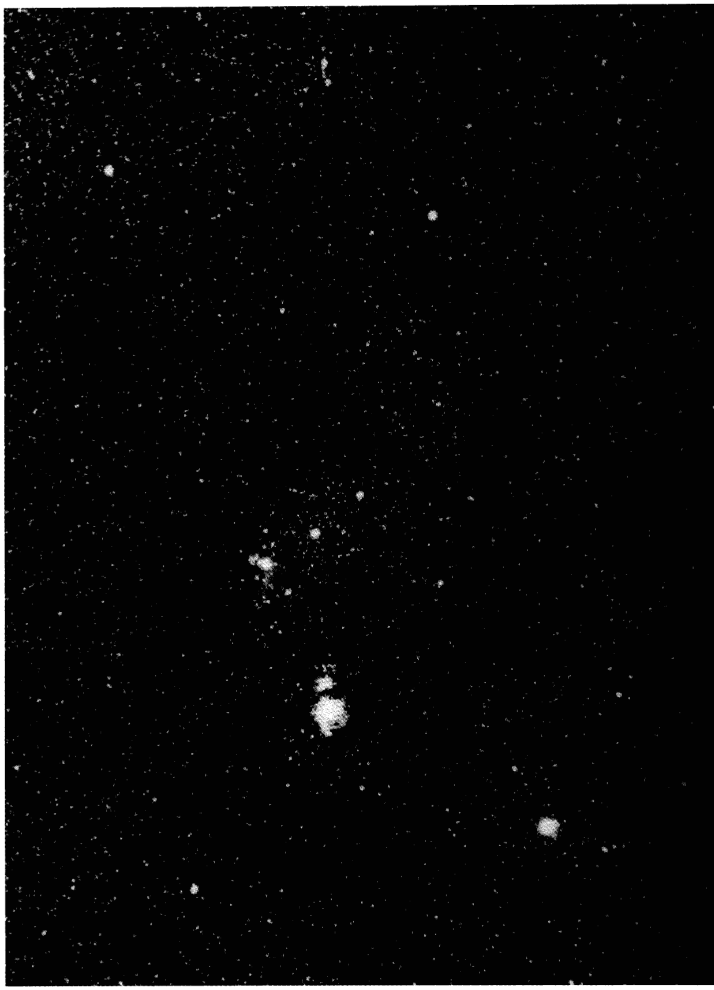


**图 569　猎户座**

照片和肉眼的印象不大相同（参看图 568）。照片记录下许多肉眼看不见的暗星。猎户座内最明亮的参宿四颜色浅红，在照片上不大显著。

我们在图 568 里已经认识了的小犬座，它在大犬座之上、双子座之下、猎户座之东。这一星座里只有小犬 α（南河三）才是 1 等星。

长蛇座是一个很长的星座，在巨蟹座、狮子座、室女座的下面占据了 1/4 的地平线。头是四颗 4 等星所构成的，在小犬 α 星之左，小犬 α 和参宿四的连线上。狮子座大梯形的西方一边指向一颗 2 等星 α，便是长蛇的心。长蛇座附近还有乌鸦座和巨爵座两个次要的小星座。

余下还需谈到的只有波江座、鲸鱼座、南鱼座和半人马座等四个星座。它们按着以上

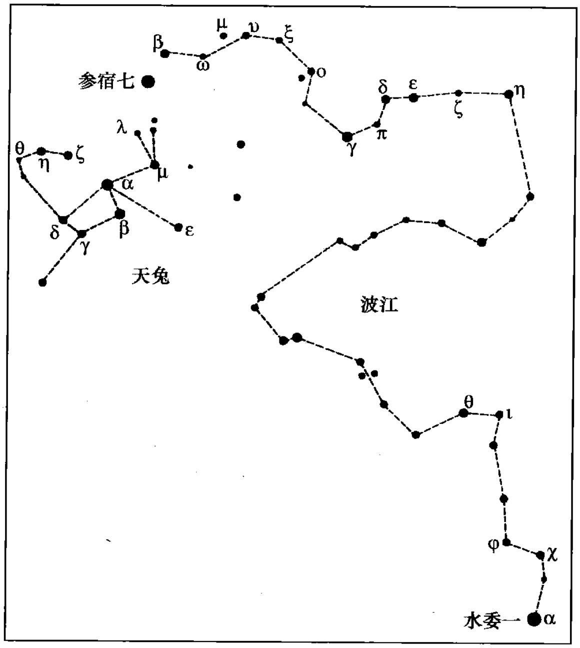



图 570　波江座

所说的次序，排列在猎户座的右方。波江座（图 570）是一串小星所组成的一条河流，从猎户座的左脚参宿七蜿蜒而下，消逝在地平线之下。经过几度蜿蜒曲折，最后在 1 等星水委一处告终。神话中说，太阳神阿波罗（Apollo）的儿子法厄同（Phaéton）驾着他父亲的銮驾掉入这条河里死去，为了安慰阿波罗丧子的悲痛，这条河才被升入天界。

要寻找鲸鱼座（图 571），可以先在白羊座下面寻出一颗 2 等星，它和白羊座与昴星团形成一个等边三角形，这便是鲸鱼 α 星〔中文名天钩五，即鲸鱼的腭骨。——译者注〕；α、λ、ξ 和 γ 星形成一个四边形，象征着鲸鱼的头。底边 α、γ 星延长到一颗 3 等星 o 星，形成鲸鱼的颈。最后的这颗 o 星是天上一颗最奇特的星，叫做鲸鱼怪星〔中文名刍藁增二。——译者注〕。它是一颗特殊变星，有时亮到 2 等星，有时肉眼却完全看不见。自 16 世纪末，天文学家便观测它的变化，求出它的周期平均是 332 日。由对这一类怪星的研究，我们发现了许多有趣的现象。

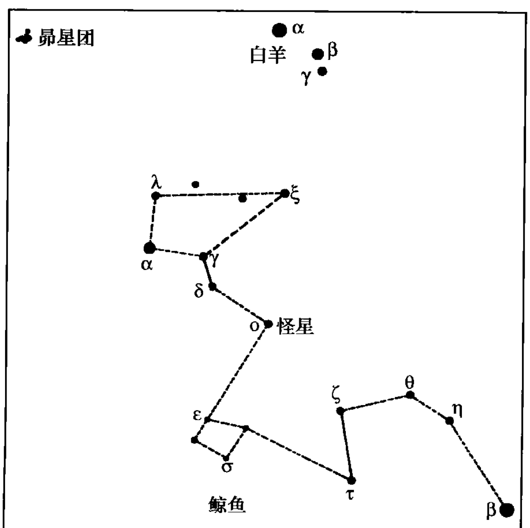



图 571　鲸鱼座

半人马座在室女角宿一的下面（图 572）。2 等的 θ 星和 3 等的 τ 星形成了头和肩，只有这一部分才露出

在巴黎的地平线上面。半人马座里有和我们最接近的星，它的1等星α距离我们40兆($40\times10^{12}$)千米，这颗星的光线在途中旅行4年以上才到达地球。半人马座的后脚碰到了南十字座，这是四颗2等星所形成的，常隐藏在我们的地平线下面〔我国南方边疆地区可以看到南十字座。——译者注〕。再南一些便是南天的极，那里并无显著的星作为标记。

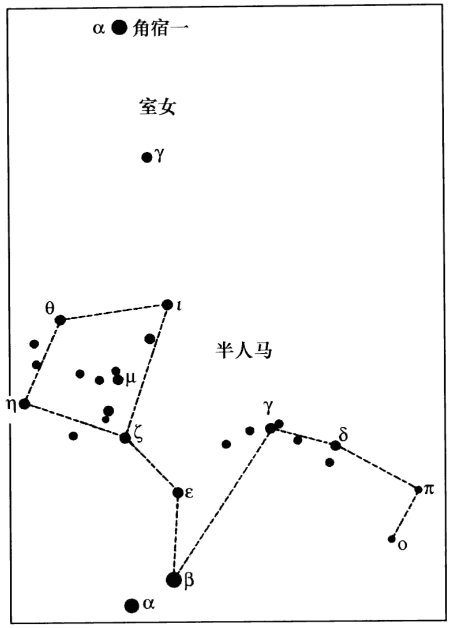


图572　半人马座

星星按星座分群，是古人想象的遗产，对于认识明亮的星是有用的，可是对于暗星就不方便了，特别是从前天文学家对于星座的数目和界限的意见还不一致的时候。国际天文协会曾特别组织委员会重新研究这一问题，但是因为一些在此不必详谈的原因，这个问题的解决有着相当的困难。现今星座的界限是以天球上的圆弧(经圈和纬圈)确定的。后面表内所列举的是经天文学界公认的88个星座，图574表示出几个星座之间的分界情况。

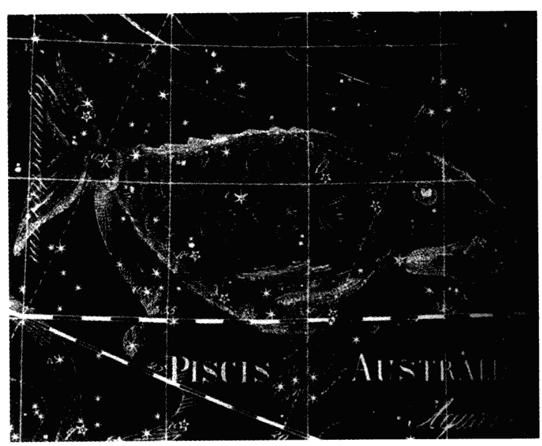


图573　南鱼座的中央部分(根据波得的星图)

我们把蛇夫座分在北天星座里，虽然它大部分在赤道之南，我们按照习惯作了这样的分类。星座的名称通常以拉丁文命名，规定缩写为三个字母表示。古代的南船座现分船尾、船帆和船底等三座。

巨蛇座已经切为蛇头和蛇尾两段，但仍当做一个星座，以Ser符号表示，那么，这样的分割便不合理了。星座的拉丁学名及三个字母的缩写，由国际天文协会规定，但仅用于科学刊物之中。

自从这个公约实行以后，星的记法便是这样：αTau代表毕宿五，ζ UMa表示开阳，α C Ma表示天狼，η Cr B表示北冕η星〔中文名贯索增三。——译者注〕等。

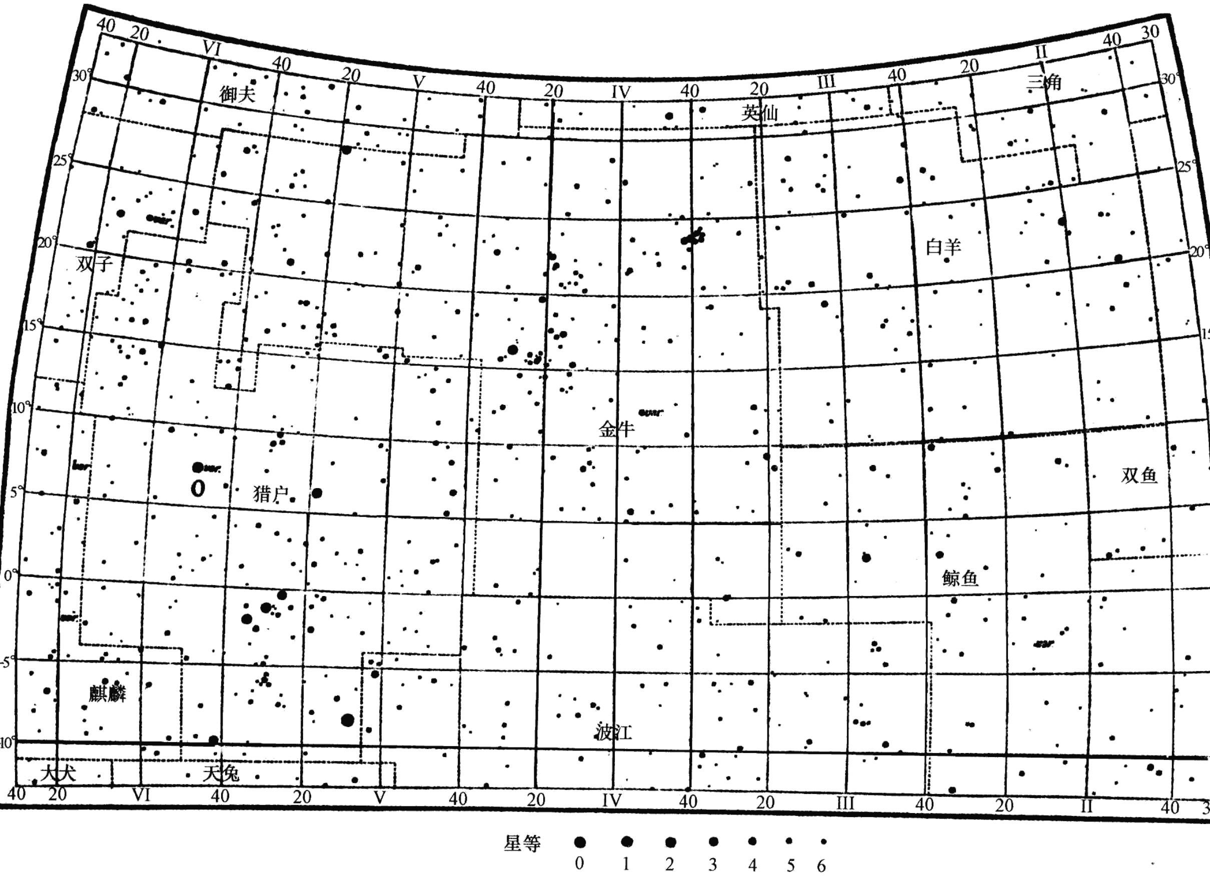



**图 574　德耳波特（Delporte）所绘星图的一部分，这图清楚地规定了星座的界限（金牛同它附近的星图）（图中箭头所指的是变星）**

**北天星座**

| 名称 | 缩写 | 拉丁学名 | 名称 | 缩写 | 拉丁学名 |
|---|---|---|---|---|---|
| 小熊 | UMi | Ursa Minor | 仙后 | Cas | Cassiopeia |
| 天龙 | Dra | Draco | 鹿豹 | Cam | Camelopardalis |
| 仙王 | Cep | Cepheus | 大熊 | UMa | Ursa Major |
| 猎犬 | CVn | Canes Venatici | 后发 | Com | Coma Berenices |
| 牧夫 | Boo | Bootes | 巨蛇 | Ser | Serpens |
| 北冕 | CrB | Corona Borealis | 蛇夫 | Oph | Ophiuchus |
| 武仙 | Her | Hercules | 盾牌 | Sct | Scutum |
| 天琴 | Lyr | Lyra | 天鹰 | Aql | Aquila |
| 天鹅 | Cyg | Cygnus | 天箭 | Sge | Sagitta |
| 蝎虎 | Lac | Lacerta | 狐狸 | Vul | Vulpecula |
| 仙女 | And | Andromeda | 海豚 | Del | Delphinus |
| 英仙 | Per | Perseus | 小马 | Equ | Equuleus |
| 御夫 | Aur | Auriga | 飞马 | Peg | Pegasus |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 天猫 | Lyn | Lynx | 三角 | Tri | Triangulum |
| 小狮 | LMi | Leo Minor | | | |

**黄道星座**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 白羊 | Ari | Aries | 天秤 | Lib | Libra |
| 金牛 | Tau | Taurus | 天蝎 | Sco | Scorpius |
| 双子 | Gem | Gemini | 人马 | Sgr | Sagittarius |
| 巨蟹 | Cnc | Cancer | 摩羯 | Cap | Capricornus |
| 狮子 | Leo | Leo | 宝瓶 | Aqr | Aquarius |
| 室女 | Vir | Virgo | 双鱼 | Psc | Pisces |

**南天星座**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 鲸鱼 | Cet | Cetus | 南鱼 | PsA | Piscis Austrinus |
| 波江 | Eri | Eridanus | 玉夫 | Scl | Sculptor |
| 猎户 | Ori | Orion | 天炉 | For | Fornax |
| 麒麟 | Mon | Monoceros | 雕具 | Cae | Caelum |
| 小犬 | CMi | Canis Minor | 天鸽 | Col | Columba |
| 长蛇 | Hya | Hydra | 天兔 | Lep | Lepus |
| 六分仪 | Sex | Sextans | 大犬 | CMa | Canis Major |
| 巨爵 | Crt | Crater | 船尾 | Pup | Puppis |
| 乌鸦 | Crv | Corvus | 罗盘 | Pyx | Pyxis |
| 豺狼 | Lup | Lupus | 唧筒 | Ant | Antlia |
| 南冕 | CrA | Corona Australis | 半人马 | Cen | Centaurus |
| 显微镜 | Mic | Microscopium | 矩尺 | Nor | Norma |
| 天坛 | Ara | Ara | 杜鹃 | Tuc | Tucana |
| 望远镜 | Tel | Telescopium | 网罟 | Ret | Reticulum |
| 印第安 | Ind | Indus | 剑鱼 | Dor | Dorado |
| 天鹤 | Gru | Grus | 飞鱼 | Vol | Volans |
| 凤凰 | Phe | Phoenix | 船底 | Car | Carina |
| 时钟 | Hor | Horologium | 苍蝇 | Mus | Musca |
| 绘架 | Pic | Pictor | 天燕 | Aps | Apus |
| 船帆 | Vel | Vela | 六分仪 | Oct | Octans |
| 南十字 | Cru | Crux | 水蛇 | Hyi | Hydrus |
| 圆规 | Cir | Circinus | 山案 | Men | Mensa |
| 南三角 | TrA | Triangulum Australe | 蝘蜓 | Cha | Chamæleon |
| 孔雀 | Pav | Pavo | | | |



图 575 美洲星云(用红光拍摄)

# 第四十章

# 星的方位测量

人们给星以专有的名称,例如天狼、织女,以及用星座名称加上希腊字母(如猎户 β 星)来命名,这只是便于叙述的一种方法,不能推广到一切的星。事实上不能将所有的星都给上一个名字,因为在望远镜里能够看见的星以数百万计,至于用照相的方法更揭示出星有数千万颗之多。

记录星星在天上的方位,应该用数字来表示。地理学家给重要的地方以一个专有的名称,如巴黎、伦敦,但是对于一个不著名的地方,以及船只在海上的位置,便用经度和纬度来表示。图 576 表示地理学家和航行的人所用的坐标系统。通过地球两极描绘一系列的大圆圈叫做子午圈。经国际公认,以通过格林尼治天文台的子午圈为本初子午圈。

这一系列的大圆圈规定了每个地方的经度。例如巴黎的经度便是东 2°20′,因为巴黎的子午圈和本初子午圈中间所夹之角是 2°20′,而且巴黎在格林尼治之东。天文学家常用

时刻，而不用弧度来做角的单位，他们将全圆周分为 24 小时，而不是 360°。一小时等于 15°。巴黎天文台是东经 9 分 20.93 秒。

再设想在子午圈上，从赤道到北极分为 0°至+90°的等分，从赤道到南极分为 0°至−90°的等分。这样的划分法规定了纬度。巴黎的纬度是 48°50′11″。同纬度的地方是在相同的纬度圈上，或者说是在平行于赤道的同一小圆圈上。

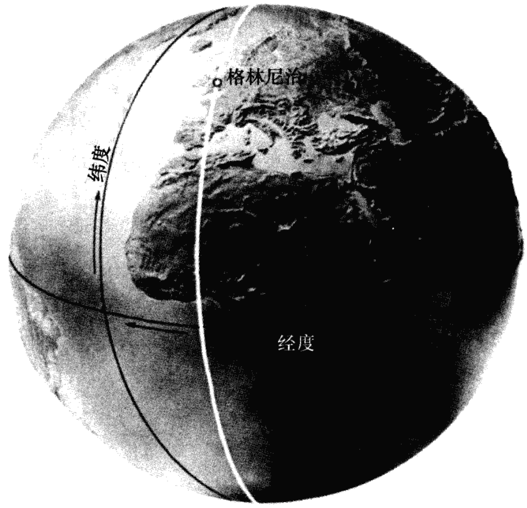


图 576　地球上的经度和纬度

天文学家为了记录星的方位，就在天球上设想出一套类似的系统。类似子午圈的大圆叫做时圈，它经过地球自转轴和天球相交的两极。自然还须固定一个原点，这一点便是黄道和赤道的一个交点，叫做春分点(太阳于春分日通过这一点)，本初时圈便是过春分点的时圈。这一套时圈系统规定了和地面经度相当的赤经(图 577)，从西到东取作正的方向，虽以弧度量，但常常用时间的单位来表示。赤纬相当于地理纬度，从天赤道量起，以弧度表示，对于北半球的星为正，南半球的星为负。

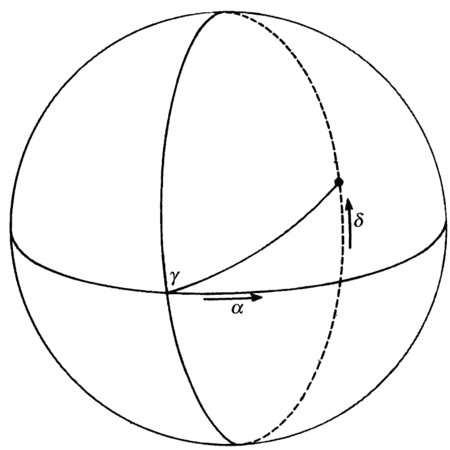


图 577　天球上的赤经和赤纬

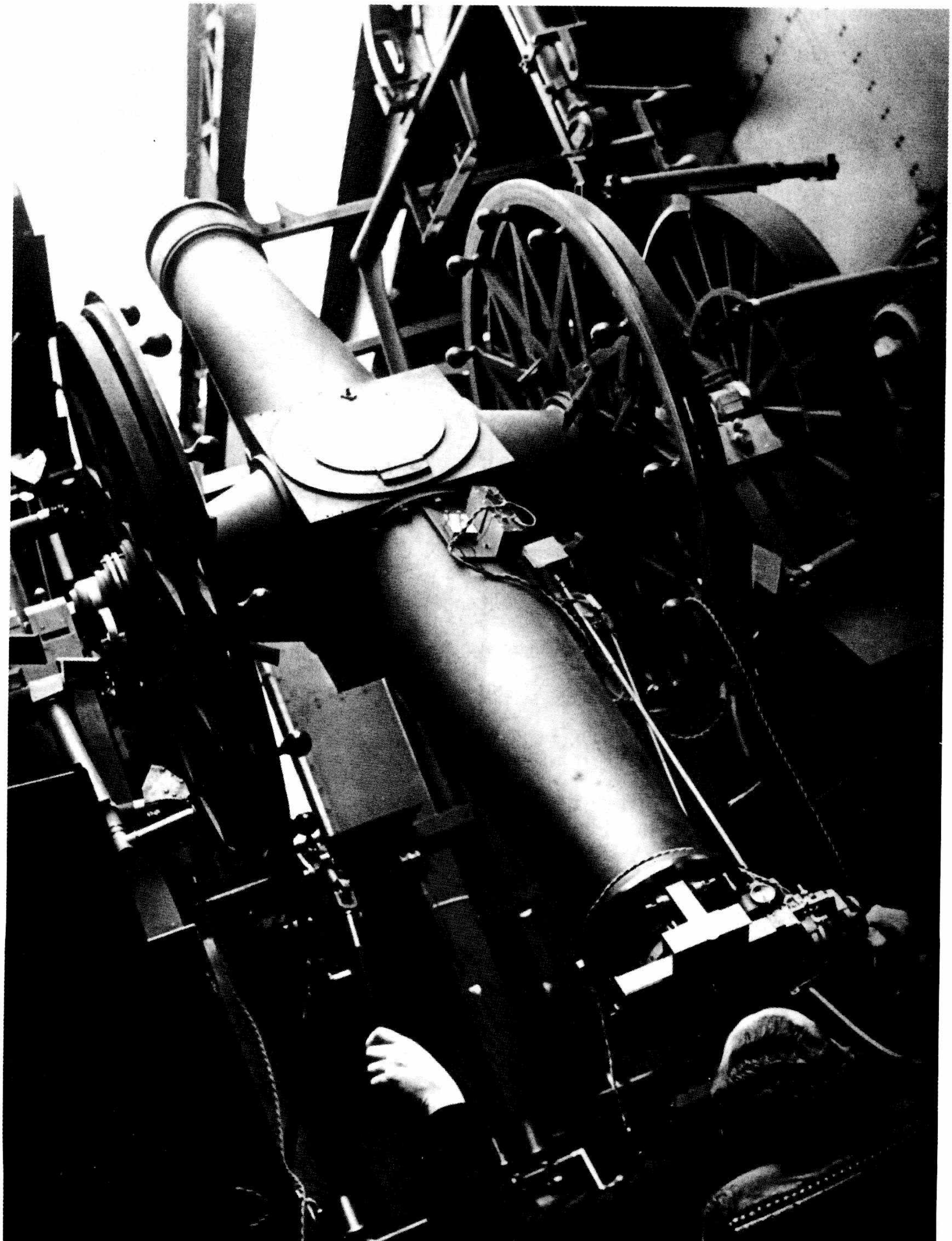
在这样的坐标系里，1950 年织女星(1 即天琴 α 星)的方位是：赤经为 18 时 35 分 14.65 秒，赤纬为+38°44′9″.59，这两个坐标可以很精确地用子午仪测定。

## ◀子　午　仪▶

这是天文台的基本仪器。图 578 是巴黎天文台的子午仪的照片。这台仪器的主要部

分是一架口径 19 厘米的折射望远镜,借两个转轴放在坚固的柱石上面。转轴是水平的,安装在真正的东西方向上,因此这架望远镜的轴只能在观测地的子午圈平面内运动。天文工作者只在星经过子午圈的平面时才进行观测。我们可以用这台仪器来测定星经过子午圈的时刻,所以这台仪器又叫做中星仪(图 579)。

图 578 巴黎天文台的子午仪



我们略谈一下测定星的赤经的原理。为决定春分点的位置，对太阳的观测是需要的。在夏至的时候，太阳达到它最大的赤纬 23°27′，在那几天内这赤纬变化很少，所以用子午仪能够很精确地去测量它。这个数值是黄道和赤道的交角。测定这个数值以后，那一年内任何时刻测量太阳的赤纬，便可完全确定太阳对于春分点的相对位置（即太阳的赤经）。

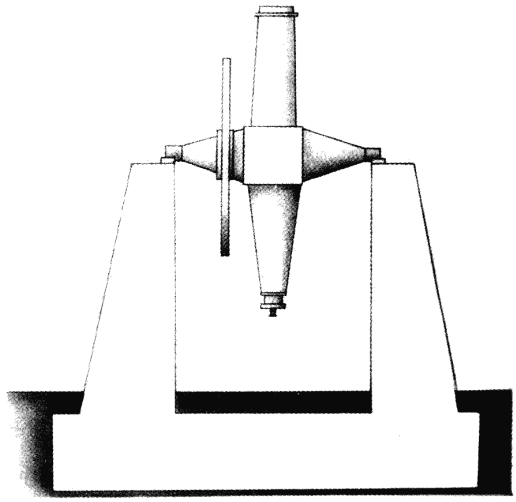


图 579　中星仪示意图

当春分点过子午圈的时候，按照定义恒星时是 0 时。一颗星或太阳经过子午圈的时候，或者说经过子午仪望远镜里十字蛛丝的时候，恒星时便等于这颗星的赤经或太阳的赤经。由太阳赤纬的观测可以计算出它的赤经。太阳经过子午圈的时候，恒星时便等于它的赤经。所以这种观测可以用来校核天文台恒星钟上的时刻。恒星钟既经这样校准以后，可于当天夜晚观测星经过子午圈的时刻而定出它的赤经。

子午仪观测可以达到的精确度很高，高到难于想象。但是要达到这样高的精确度，仪器的构造必须近于理想的境界。它上面细微的误差，如转轴位置和形式上的误差、镜身构造上的缺陷（如镜身的弯曲），以及大气折光的影响等，均能由天文工作者进行测定。还有一种难于避免的误差，即是由观测者本人而来的误差，他可能将星过十字蛛丝的时刻估计得过早或者过迟，而且这误差是随人而异。但是可以有方法使这种“人差”大大地减少，即是用一个马达带动一条压在星上的动丝，装动丝的小匣与定丝相接触时通电，将中天的时刻作自动的记录。

近代的中星仪装置有刻度环，可从那上面直接读出星的赤纬。放在观测室地上的水银盘可以用来校准这刻度环的原点。

子午仪曾用来编制初期的精确的星表。但在子午仪发明以前已早有星表。遗留到今天的最早的星表已经有 2 000 年了。这是喜帕恰斯在希腊罗得岛（Rhodes）于公元前 127 年所编制的，表内收集了 1 025 颗星。据史学家普林尼（Pline）认为，这是最早的一个星表，编制星表这一工作是由一个罕见的、在当时被看做是稀罕的现象，即一颗新星出现而产生的好奇心所引起的。这星表内的星至今还保存在托勒密的天文集内，这些星于 1 000

年以后，即在 960 年，复经波斯天文学家亚耳·苏菲(al Sûfi)重测；又过了 5 个世纪，约在 1430 年间，又经帖木尔的孙儿兀鲁伯(Ulugh Beg)在撒马尔罕〔在中亚细亚，现属乌兹别克斯坦。——译者注〕做第三度的复测。这些星的第四度观测是在 1590 年间经第谷在丹麦赫芬岛的观天堡中所进行的。1676 年英国天文学家哈雷在圣海伦娜岛测定了一个南天星表，是以前天文工作者居处的纬度所看不见的。1712 年格林尼治首任天文台台长弗拉姆斯蒂德(Flamsteed)公布他在伦敦观测的具有 2 866 颗星的星表。1742 年拉卡伊(Lacaille)编制了含 9 766 颗星的南半球的星表。这一类工作中享盛名的还有布拉得雷(Bradley)星表(1760)和皮亚齐(Piazzi)星表(1800)。拉朗德(Lalande)星表记载他于 1789—1800 年间在巴黎陆军学校天文台所观测的 47 390 颗星，分星号、星等和方位几项。

阿格兰德(Argelander)和他的学生所编制的星表，取得了空前伟大的成就。1859—1886 年间在波恩所出版的四卷是以波恩星表(简称 B. D. )命名的，表内含有 457 848 颗星的方位与星等。这些星是用 12 厘米口径的折射望远镜观测的，星等是用目视法估计的。星表内列入至 9 等的星，另外也有一些较暗的星。表里所有的星都被描绘于星图上，很便于寻找。

这项工作在南天部分经科尔多瓦(Cordoba)星表(简称 C. D. )加以补充。这张星表里有星 578 802 颗，至 10 等为止，发表于 1892—1914 年间。

自然这些星的坐标不很精确。于是进行第二个很重要的工作：用子午仪观测 B. D. 内亮于 9 等的星。这项伟大的计划由德国天文学会负责进行，这个星表以 A. G. 两字命名。

观测工作在 12 个天文台进行，成果发表于 1890—1910 年间出版的、计有 15 分册之多的书中，共记载有 144 218 颗星的很精确的方位；这项工作的南天部分，在 $-2°$ 与 $-23°$ 之间的星 43 830 颗，发表于 1904—1924 年间出版的 5 分册之多的书中。

这项工作快完成的时候，人们已经决定再做重测工作，因为连续几个星表的比较研究，才会产生很大的效果。

这项艰巨的工作现在快完成了。它的方法是这样的：绝大多数的星都用照相的方法拍摄，但是它们坐标的测定是根据用子午仪观测的 1.2 万颗星的方位。这些星的绝对方位是和 1 535 颗研究得特别精密的星进行比较而确定的，这 1 535 颗组成的第三号基本星表(简称 FK3)，是子午天文学的基础。另外一种有名的博斯星表(简称 G. C. )，记有星 33 342 颗，包括整个天球上亮至 7 等的星。为了做这一星表，在 1907—1918 年间，在美国奥尔巴尼和阿根廷的圣路易做了 20 万次观测。

这个星表里星的方位是十分精确的。它们的内在符合度〔即每颗星的赤经或赤纬与其多

个测量值之间的均方差很小。——译者注〕很高，在赤经和赤纬上均准确到 0″.1。

由于星的自行所产生的不可避免的误差，1950 年的方位坐标可能有 1/3 弧秒的误差。要想对于这个精确度有一个概念，我们可在用天体赤道仪所拍摄的照片上，取 6 微米那样小的距离，它便等于一颗星的方位可能有的误差。

子午仪的观测显然不能永远这样做下去。照相术发明以后，人们就想做全天的照相星表，有 10 多个天文台参加了这项工作。

用照相法拍摄全天的星象所需用的照片数目并不很大。这一工作所选用的仪器相当大（口径 32 厘米），是由亨利兄弟制造的，照片每边 16 厘米，只需拍摄 5 000 多张便可包括全天。这些照片所摄取的资料有无比的价值。为了长期保存起见，人们把这些照片复制成铜版，再印刷发行。我们在图 580 复制出天图的一个小区域。方格每边长 5 毫米。在显影以前即将方格照上。这些方格对于测量有帮助，而且增加测量的精确度。拍摄时连续露光三次，因此每颗星的像是等边三角形的三个顶点。这样就不致把照片上的灰尘误认做星象（图 580）。

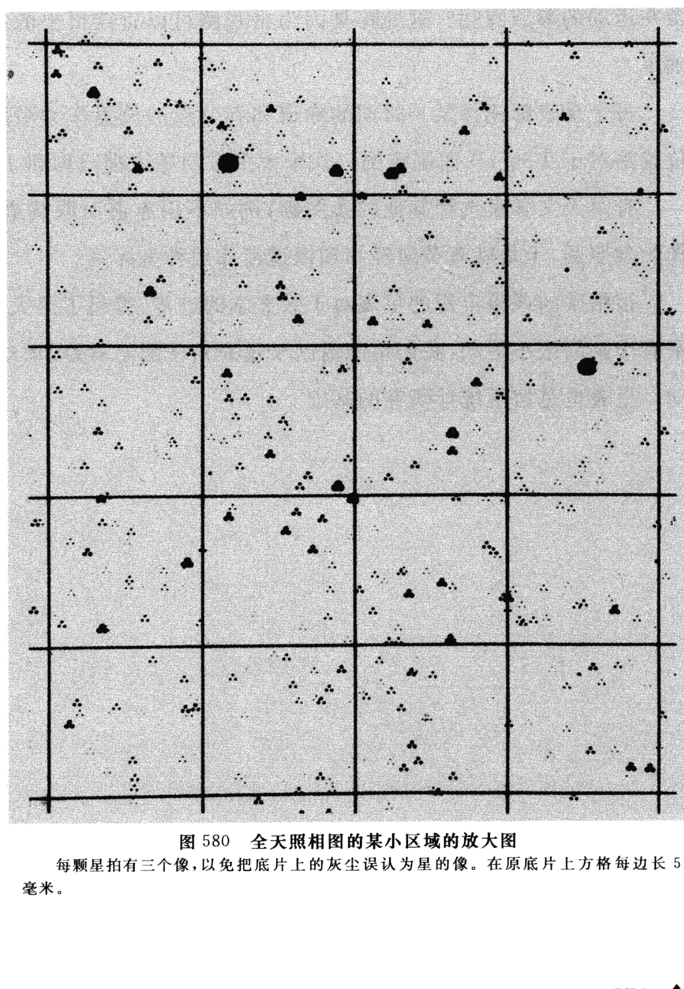


**图 580　全天照相图的某小区域的放大图**

每颗星拍有三个像，以免把底片上的灰尘误认为星的像。在原底片上方格每边长 5 毫米。

如果以为照相观测可以完全代替子午仪观测，那便错了。事实上，照片上星象方位的测定，是需要由子午仪观测的一些星的精确方位作为依据的，更何况子午仪的精确度是难以超过的。

制作天图照相星表是一项长期的工作，这项工作自 1887 年开始至

1950 年还没有完成。这项工作被推迟的原因是由于一些天文台把精力放在新的研究上，忽略了星表的研究工作。

星的方位测量使喜帕恰斯发现了岁差。岁差现象已经在本书第一篇第四章里讨论过，它是地球复杂运动的一种表现。它之所以改变了星的方位，纯粹是因为坐标系（赤道和春分点）不是固定的，赤道旋转，春分点也在移动。这好像地理学家选了一个漂荡在海洋上的冰山作为他们地图的极点一般。幸而岁差的变化是有规则的，我们容易计算出赤经、赤纬因岁差而产生的变化。喜帕恰斯对发现这一现象有很大的功绩，他虽不能解释其中的缘由，但对现象的描述是正确的。

上面所举的织女星的坐标，我们特别标明是 1950 年的。因为到了 2000 年，这颗星的赤经将增加 1 时分，赤纬将增加 2′47″。为什么天文学家还保留着这些不太方便的、而且常在运动的参照圆呢？这纯粹是因为由观测可以直接得出的这种坐标，有着相当高的精确度。

每个星表都选择某一时期的赤道和春分点的位置作为参照的标准。例如 B. D. 里的位置是对于 1 855.0 而制定的。现今大多数的星表都归算到 1 900.0。

有时天文学家选择其他的参照圆，例如不用赤道而取黄道或者大约在银河里的大圆作为参照圆，于是就有黄道经纬和银道经纬两种坐标系。

很精确的或很丰富的星表对于天文学的进步，曾起了巨大的作用。我们由星表得知，星有个别的微小运动，我们也能借助于星表精密测定岁差、章动以及太阳系在空间里的运动。星表也是恒星统计研究的基础。

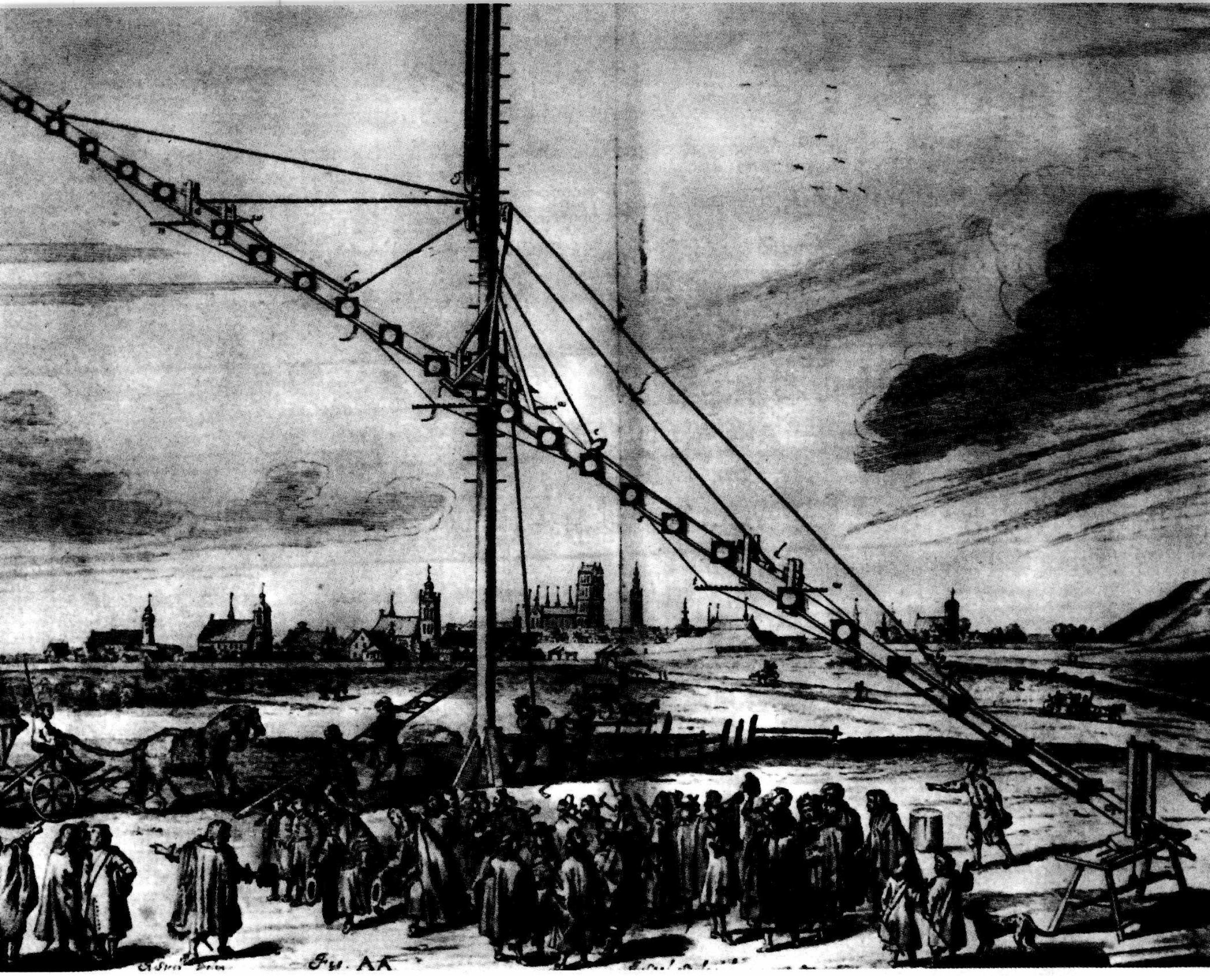


图 581　这幅雕刻图是消色透镜发明以前，古人使用的折射望远镜

焦距长的原因是为了减弱透镜的缺陷。但是，人们使用这样的仪器需要特殊的技能和技术员的协助。镜管是空架结构，但有许多光阑，以消除寄生光线。

## 第四十一章

# 星的光亮与星的数目

肉眼观测向我们表明：星的光亮是有差异的，有些星如天狼、织女，特别明亮，而有的星却暗到难以辨认。古人按星的明暗而分等，最亮的叫做 1 等，暗到肉眼恰可以看见的，

叫做 6 等。这种古代的分类方法在原则上被保留了下来，但现在经过精密化，而且推广到望远镜或照相术所能看见的暗星上去。

据公认，一颗星比另外一颗暗 100 倍的星，其星等便加五个单位。例如英仙座内 57 号小星的亮度比毕宿五恰少 100 倍。毕宿五是 1 等星，英仙 57 便是 6 等星了。

下表表示星等和亮度之间的关系：

| 星等： | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|
| 亮度： | 1 | 1∶100 | 1∶10 000 | 1∶1 000 000 | 1∶100 000 000 |

当然，在这两个数学上叫做算术级数和几何级数的比值里，可以做内插的计算。下表记载 0 至 5 星等之间的内插结果：

| 星等： | 0 | 1 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 亮度： | 1 | 1∶2.52 | 1∶6.32 | 1∶10 | 1∶15.85 | 1∶39.81 | 1∶100 |

这种常用的星等尺度颇不方便，主要的缺点是，光亮愈暗弱的星，其星等数字愈大。我们在图 582 里复制一个星等尺度。这是将各星等的象照在一张底片上而做成的。底片上星象黑点的直径，表示这些黑点所代表的星的星等。

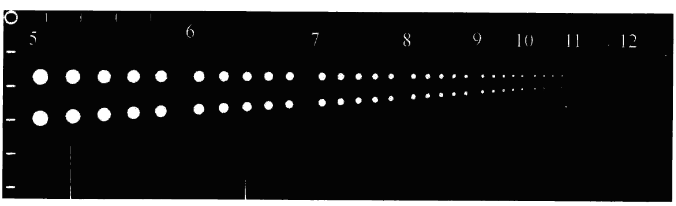



**图 582　为迅速比较恒星的光度，我们使用像上面这样的标尺，以星等分级，但是这样的标尺必须经过定标的手续**

在良好的情况下，肉眼可以看到 6 等星，即是比 1 等星暗 100 倍的星。这是在黑夜瞳孔完全张开的时候，肉眼所能感光的极限，在此情况下瞳孔的直径约 8 毫米。

如果肉眼的瞳孔直径增加 10 倍，即它的面积增加 100 倍，于是它可能接收的光增加 100 倍，肉眼的感光极限便可达 100 倍暗的星，那么我们所能看见的星便是 6 等再加上 5 等，即 11 等星了。天文望远镜虽是一种仪器，却可比拟为一个扩大了瞳孔的眼睛。

望远镜的主要部分是大口径的物镜和目镜。物镜汇聚星光成像于它的焦面上，目镜是一种放大镜，我们用它去观测所成的星象。

物镜是用两种不同玻璃的两个透镜所组成的：一片是很能聚光的冕牌玻璃透镜，另一片是稍微散光的火石玻璃透镜。要有这样的装置才能形成清晰的像(参看图 808)。从前大家不知道怎样消除像上的颜色，但是这一点天文学家是明白的，即焦距愈长的透镜，颜色的效果愈不显著(图 581)。这也说明，在卡西尼的时代巴黎的望远镜为什么有那样奇特

的装置(图 354)。顺便叙述一下,消色望远镜发明以前的有关争论是有趣的。牛顿对于这个问题感兴趣,而且做过实验。他的结论是不可能制造出一个消色的物镜。稍后欧拉(Euler)认为肉眼是消色的。根据那个时代的思想,人们认为造物主所造的东西都是完善的,既然眼睛是消色的,物镜也应该能够是消色的。今天我们知道,眼睛绝不是消色的,庆幸欧拉的观点是错误的。

英国光学家约翰·多朗德(John Dollond)本来赞同牛顿的意见,认为消色透镜不可能磨制,和欧拉争辩得很激烈。奇怪的是多朗德后来竟和自己的主张相反,于 1758 年宣布了消色物镜的原则,这个功绩不知道该归功于欧拉还是牛顿。其实这功绩应属于业余光学家霍尔(Chester Moor Hall)于 1729 年所做的实验。由于消色透镜这一项大的发明,折射望远镜才成为良好可用的仪器。

由此可见,经过精细计算而磨制的物镜是一件宝贵的光学仪器。至于目镜,它只是一种廉价的小型配件,每个天文台都有几十个。目镜是两个小透镜所合成的,每座望远镜上面都有一套容易掉换的目镜。

由大的目镜换小的目镜时,望远镜的倍率增加,与此同时,望远镜的视野(即同时看见天空的范围)也就缩小了。

物镜和目镜都具有一个特征数字,即它们的焦距。物镜的焦距常超过 1 米,目镜的焦距不过几厘米或几毫米。几何光学向我们证明,望远镜的倍率等于物镜的焦距和目镜的焦距之比。例如,有一座望远镜物镜的焦距是 4 米,目镜的焦距是 4 厘米,它的倍率便是 100。假设目镜的视野是 35°,望远镜的视野便是将此数以倍率除之,所以我们望远镜的视野是 0°.35 或 21′。若对于相同的物镜换上焦距 4 毫米的目镜,倍率便变成 1 000,视野缩小为 0°.035 或 2′.1 了。

下表记载各种口径的物镜可能达到的极限星等,我们已经把望远镜的玻璃对于光线的吸收和反射计算进去。现今在物镜表面涂上一层避免反光的物质,可以减少这种误差,因此,可以看见稍暗的星。

| 肉眼 | | 折射镜 | | | 反射镜 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 仪器口径 | | 0.05 米 | 0.2 米 | 0.5 米 | 0.8 米 | 2 米 | 5 米 |
| 极限星等 | 6 | 10 | 13 | 15 | 16 | 18 | 20 |

照相的方法还可达到暗得多的星。照相的优点是可用长时间的露光,将光的作用累积在底片上。肉眼对于星象的感觉仅在几分之一秒钟里,照片可以露光达几小时之久。

天文工作者用来照相的仪器分为两种:一种是折光照相镜,它是几片特别设计的透镜

所构成的;另外一种是抛物面或球面的反光镜。

这两种望远镜各有其优点和缺点:折射镜只用于星的方位的测定,折射镜的几何条件比反射镜的几何条件稳定得多,但口径达 40 厘米的折射镜便难于制造;至于反射镜的口径现在已达 5 米。现今我们将反射镜面放在真空里镀上一层铝,这层铝的反射光可由远的紫外区达到红外区,而从前镀银的反射镜,就不能反射紫外光。

大望远镜的视野常常是小的,一张照片只能拍得天空很小的一个区域。对于口径 2 米的抛物面反射镜,照片上清晰的视野只有 9 厘米×12 厘米的范围,相当于上弦月那样大。用这样的望远镜去拍摄全天,需要 16 万张照片之多。

1931 年德国天文学家施密特(B. Schmidt)发明了大视野的照相望远镜。这个仪器的主要部分是一个球面反射镜和一片制作精巧的、放在反射镜的曲率中心上的改正透镜。视野清晰的范围比较大,而且视野范围达 8°或 10°直径的施密特望远镜并不难于制造。底片是用放在球面上的软片〔这种类型的望远镜现在叫做折反射望远镜。1965 年我国制成了第一台大型折反射望远镜(改正透镜口径为 43 厘米),达到国际先进水平,详见《天文爱好者》月刊 1966 年 1 月号。——校者注〕。这个仪器所成的像异常精细,可以拍得的星比大口径望远镜所能拍得的还要暗弱。施密特望远镜具有清晰的大视野和充足的光线两个优点,所以可用来拍摄天空的广大区域。

法国南方天文台有一小型的施密特望远镜,反射镜的口径是 40 厘米,改正透镜的口径是 32 厘米,圆形软片的直径长 8 厘米。这个仪器露光 10 分钟可以拍得 17 等的星。只需要 1 000 多张软片便可将全天拍完。

我们知道光线是由光子所组成的。这种光粒子非常微小。肉眼望着 6 等星,在 1/10 秒的时间内,便可接收 300 个光子。至于 21 等星在 1 小时内送给肉眼的不过是 10 个光子。这样的星肉眼是绝对看不见的,但是大口径望远镜所能接收的光子数目就大得可观。例如,对于那颗暗至 21 等的星,口径 1.93 米的反射镜,1 秒钟可接收 300 个光子,因而在 1 小时内照片上所接收光子之数超过 100 万。

因为这种积累作用,照片上也能拍得暗至 21 等的星。帕洛马山 5 米口径的望远镜可以拍得 23 等的星。

照片上所拍得的星象可以互相比较,因而我们可用照相的方法测量星等。这样的比较可借显微镜或测微光度计测量星象的直径而得出。

这样求得的照相星等和由肉眼观测而得的目视星等是不同的。这种差异是因为星有各种的颜色。一颗蓝色星,如织女星,给我们的光是很富蓝色的辐射;至于一颗橙色的星,

如毕宿五，所发出的光是极富橙色的而很少蓝色的辐射。在眼睛里看来是一样明亮的两颗星，但蓝色的一颗比橙色的一颗更能使底片感光，因为底片对于蓝色的辐射比橙色的辐射更为敏感。一颗星的照相亮度愈大，它的照相星等愈小。据公认，这两个星等尺度的关系是使像织女那样的蓝色星的目视星等和照相星等相同。

对于一颗橙色的星，照相亮度小，照相星等便比目视星等大。

上面这些见解可以用数字表示。对于织女，两种星等差不多相同；毕宿五照相星等是2.54，目视星等是1.06。这两个数字的差异代表星的颜色，所以叫做**色指数**。对于蓝色星的织女，色指数为0；对于红星毕宿五，色指数为1.48。星的每种颜色有着相应的色指数。下表表示它们之间的关系：

| 星的颜色 | 紫 | 蓝 | 白 | 黄 | 橙 | 红 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 色指数 | −0.3 | 0 | +0.4 | +0.7 | +1.1 | +1.6 |
| 举例 | 参宿七 | 织女 | 南河三 | 五车二 | 大角 | 心宿一 |
| 温度(℃) | 21 000 | 11 000 | 7 000 | 5 400 | 4 100 | 3 200 |

表里我们列出这些星的温度，是因为颜色和温度之间有着密切的关系。所以，星的色指数的测量可以决定星的温度。

因为暗星的目视观测困难，天文学家另想方法用照片代肉眼的观测，以取得目视星等的数值。天文学家用对黄色辐射感光的正色底片和黄色的滤光板，以取消紫蓝两色的辐射。这种底片的感光区域和肉眼的感光区域相同，这样测得的星等叫做**仿视星**等，即是用照相方法所测得的目视星等。

近年来因光电管的发明，对星等的测量大有进步。光电管的主要部分是一层对光敏感的物质，经光线照射后发出电子。很遗憾，这样放出的电子很少，光电管所造成的电流太小，难于测量。另外一种富有技巧的装置便是使这样放出的电子再射到另外一层物质上去，使一个射入的电子打出两三个电子。我们可以将这倍加的方法重复许多次，这样的光电管叫做光电倍增管，可以反复增加至19次。在初级感光层发出的一个电子，可以产生几百万个电子，汇聚在需测量的电流之中。在望远镜的目镜处放上光电倍增管，由光电倍增管所生的电流得以直接量出星的亮度。使用滤光板可以随意得到蓝色(照相的)或黄色(目视的)星等。这种测量既精确又迅速，比单用照相的方法优越很多，所以现今精密的测量均使用这种光电的方法。光电倍增管的灵敏度很高，现今装在望远镜上可以测得肉眼在目镜里所不能看见的星。但用这种方法去寻找星是有困难的，所以还须在照片上确定需要测量的星的方位。

技术的进步扩大了感觉的范围，使用镀铝的反射镜可以拍摄到大气能透过的紫外的

极限区域(3 200 埃)。新的感光照片更能将照片的感光范围延展到红外的区域。现在有一种硫化铅的光电管,它的电阻随光线的强弱而变化。这种光电管特别对红外辐射敏感,可以将我们认识的范围扩大到远的红外区(4 微米)去。

我们已经说明,由目视法所得的星等和由照相法所得的结果是不相同的,这是由于不同的接收器对于颜色有不同的灵敏区域。我们可以将星等的定义推广,例如用硫化铅的光电管可以测定的红外星等,和通常的星等很有差别。根据公约,光谱型 $A_0$ 的蓝色星(织女),目视和照相星等相同,都是 0.10。但是一颗红星,如心宿二,红外星等是 −1.6,比天狼星还要明亮。这种情形对于所有冷星都相同,所以冷星很富红外辐射。小而暗的变星,如天鹅 R,视星等是 11,也和织女星一样明亮。以红外辐射的观点看去,天空和它上面的星座与肉眼所见的情况大不相同(图 583)。

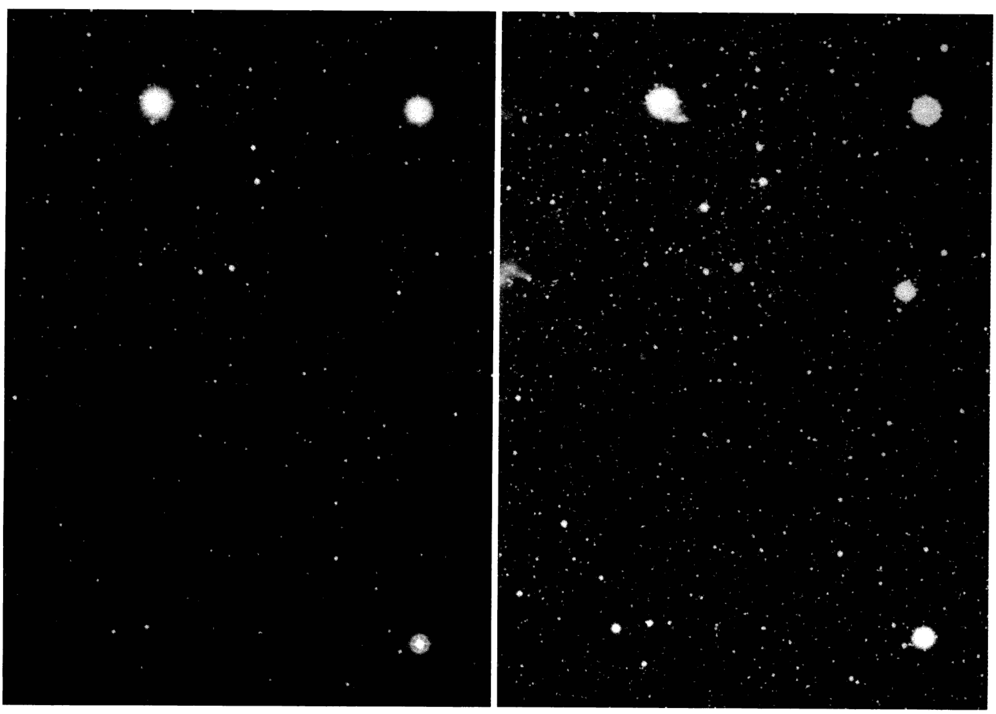


**图 583　猎户座星区**

法国南方天文台的施密特望远镜拍摄。左图是用对蓝色感光的普通底片拍摄,露光 10 分钟;右图用全色底片透过红色滤光板拍摄,露光时间控制在使两颗蓝色亮星在那张照片上一样明亮的时间范围内。右图的星象特别多,原因是这个区域内红色的星特别多。其中一颗星红光特别明亮,这是长周期变星猎户 CI 星。右图上有气体星云气,这是氢气,它发出强烈的红光,猎户 CI 星也被氢的气壳包围。我们容易定出星的颜色;读者可在这两张照片上找出红色的星。

**20颗最明亮的星**

| 星名 | 星等 | 光谱 | 视向速度<br>（千米/秒） | 视差 | 距离<br>（秒差距） | 绝对星等 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 大犬 α（天狼）……双星 | −1.6<br>7.1 | A0<br>A5 | 变数 | 0″.375 | 2.7 | +1.3<br>+10.0 |
| 船底 α（老人）……… | −0.9 | F0 | 20 | 0″.018 | 55 | −4.6 |
| 半人马 α……三联星 | 0.3<br>1.7<br>11 | G0<br>K5<br>M | 变数 | 0″.760 | 1.3 | +4.7<br>+6.1<br>+15.4 |
| 天琴 α（织女）………… | 0.1 | A0 | −14 | 0″.123 | 8.1 | +0.5 |
| 御夫 α（五车二）……三联星 | 0.2<br>10.0<br>13.7 | G0<br>M1<br>M5 | 变数 | 0″.073 | 14 | −0.5<br>+9.3<br>+13.0 |
| 牧夫 α（大角）……… | 0.2 | K0 | −4 | 0″.090 | 11 | 0.0 |
| 猎户 β（参宿七）……… | 0.3 | B8p | 变数 | 0″.005 | 200 | −6.2 |
| 小犬 α（南河三）……双星 | 0.5<br>10.8 | F5 | 变数 | 0″.288 | 3.5 | +2.8<br>+13.1 |
| 波江 α（水委一）……… | 0.6 | B5 | 19 | 0″.023 | 43 | −2.6 |
| 半人马 β（马腹一）…… | 0.9 | B1 | 变数 | 0″.016 | 62 | −3.1 |
| 天鹰 α（河鼓二）……… | 0.9 | A5 | −27 | 0″.198 | 5.0 | +2.4 |
| 猎户 α（参宿四）……… | 0.9 | M2 | 变数 | 0″.005 | 200 | −5.6 |
| 南十字 α………双星 | 1.4<br>1.9 | B1<br>B1 | 变数 | 0″.015 | 67 | −2.7<br>−2.2 |
| 金牛 α（毕宿五）……双星 | 1.1<br>13 | K5<br>M2 | 54 | 0″.048 | 21 | −0.5<br>+11.4 |
| 双子 β（北河三）……… | 1.2 | K0 | 4 | 0″.093 | 11 | +1.0 |
| 室女 α（角宿一）……… | 1.2 | B2 | 变数 | 0″.021 | 48 | −2.2 |
| 天蝎 α（心宿二）……双星 | 1.2<br>5.2 | M1<br>B4 | 变数 | 0″.019 | 53 | −2.4<br>+1.6 |
| 南鱼 α（北落师门）…… | 1.3 | A3 | 6 | 0″.144 | 6.9 | +2.1 |
| 天鹅 α（天津四）……… | 1.3 | A2p | 变数 | 0″.006 | 167 | −4.8 |
| 狮子 α（轩辕十四）……三联星 | 1.3<br>7.6<br>13 | B8<br>K2 | 3 | 0″.039 | 26 | −0.7<br>+5.6<br>+11.0 |

〔一秒差距等于 3.26 光年。——译者注〕

上表中只有12颗星比1等星更亮。肉眼可见的星有6 000颗。这个数字比我们所想象的少得多，可是这已经使古人产生星是无限的感觉了！

星愈暗，数目增加愈快。试计算用照相的方法所能拍得的星究竟有多少。全天只有12颗星亮于1等，3 000颗星亮于6等，70万颗星亮于11等，5 500万颗星亮于16等。好奇心促使我们更留心地去研究这个级数。

亮于某一照相星等的星的数目

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | 0.3 万 | 14 | 1 200 万 |
| 7 | 10 万 | 15 | 2 700 万 |
| 8 | 32 万 | 16 | 5 500 万 |
| 9 | 97 万 | 17 | 1.2 亿 |
| 10 | 270 万 | 18 | 2.4 亿 |
| 11 | 700 万 | 19 | 5.1 亿 |
| 12 | 1 800 万 | 20 | 9.45 亿 |
| 13 | 5 100 万 | 21 | 18.9 亿 |

表中最后的几个数字大得使人惊讶。为了便于想象，假设一个 80 毫米直径的软片使用上面所说的法国南方天文台的施密特望远镜，露光 20 分钟，便可照上 10 万颗星象；在有些多星的区域，还可照上 50 万颗星象。在照片上，星象是 20 微米的小圈。由计算容易算出，在星象最多的照片上，星象整体所占的面积只是软片面积的 1/30。

上面的表说明，星光愈暗，星数增加愈多。但如果我们的望远镜能够照到 23 乃至 25 等星的时候，这种增加率是不是照样保持下去呢？我们探查的工具愈有能力的时候，为什么我们所看得见的星愈来愈多呢？是不是我们看见了愈来愈多的暗星呢？或是看见了愈来愈远的星呢？当然，在照片上这两种效果都是有的，不过距离的效果看来是主要的。我们可以暂时把另外一个效果略去，而假设所有的星都是一般亮。

根据这种简单化的见解，所有亮于某一星等(例如 6 等)的星都在一定半径的球内，所有的 7 等星都在半径更大的一个球内。据计算表明，这两个球的体积之比约等于 4(确切些是 3.98)。

再假设所有的星是均匀分布的，因此，迄至 7 等的星的数目应该是迄至 6 等的星的数目的 4 倍。试把这些理论和表中星的真实分配情形比较一下。

7 等和 6 等星数目的比例不过是 3.3，而不是 3.98；对于 12 和 11 等星而言，这比例是 2.6；对于 21 和 20 等星而言，这比例只是 2.0。所以我们的结论是，星的数目的增加并不如星在宇宙里均匀分布的假设的情形下那样迅速，宇宙里星的密度随距离的增加而减少。这些结果表示我们附近的星组成一个有限的云，这个星云叫做我们的银河星系，后面还要详细谈到。

另外一种理解也可以证明这种结论：因 21 等的星比 20 等的星暗 2.5 倍，假使 21 等比 20 等星的数目大 2.5 倍，那么所有 21 等星合成的光亮将大于 20 等星，这便是均匀分布的情形。照这样类推下去，所有 2 等星的光亮大于 1 等星，所有 3 等星更亮于 2 等星，照这样下去便可至无限，那么全天的亮度便是无限大。幸而事实上不是这样，否则我们便

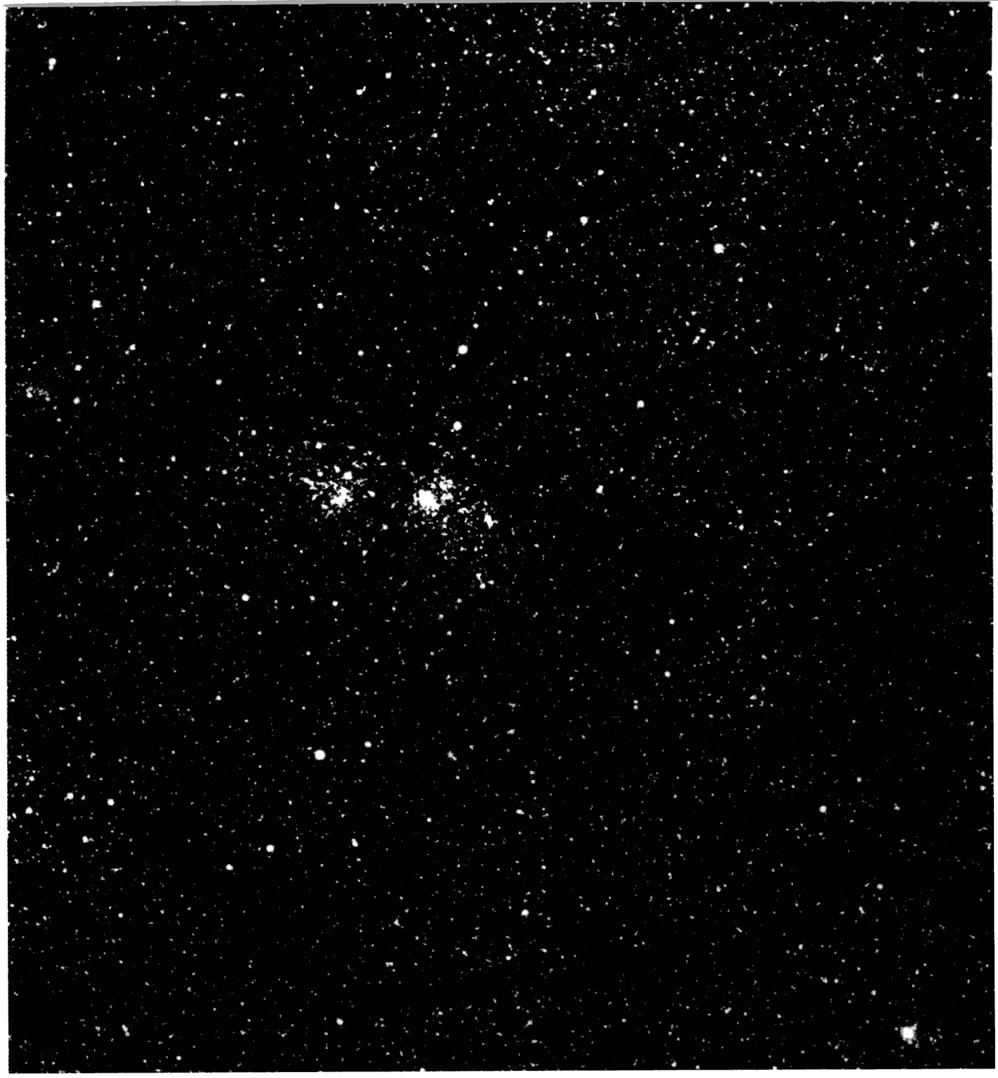


**图 584　英仙星区和双星团**

这一区在银河附近，星很密集。有人估计这张照片上有星 15 万颗。底片对蓝色光灵敏，露光 20 分钟（法国南方天文台施密特望远镜拍摄）。

处在一个火炉当中了！

法国物理学家法布里（Fabry）希望从夜天光总量的测量中可以窥见宇宙的大小。但是这种测量表明，夜天光里只有 1/4 的光是从星光而来，剩余的量是变化的，是从地上的高层大气而来。

在上面的叙述里，我们故意不谈星在天球上不是均匀分布的这一个事实。用肉眼观察便知，全天到处都有明亮的星，但是它们的分布绝不是偶然的。暗星在银河里特别多。用双筒镜观测更易明白这种银面聚度。

天文学家对于银面聚度已经做过精密的测量：从天空中选取一平方度，在离银河远的区域，11 等星只有 6 颗；在银河附近，便有 16 颗。对于 16 等星而言，这两区域内的星数之

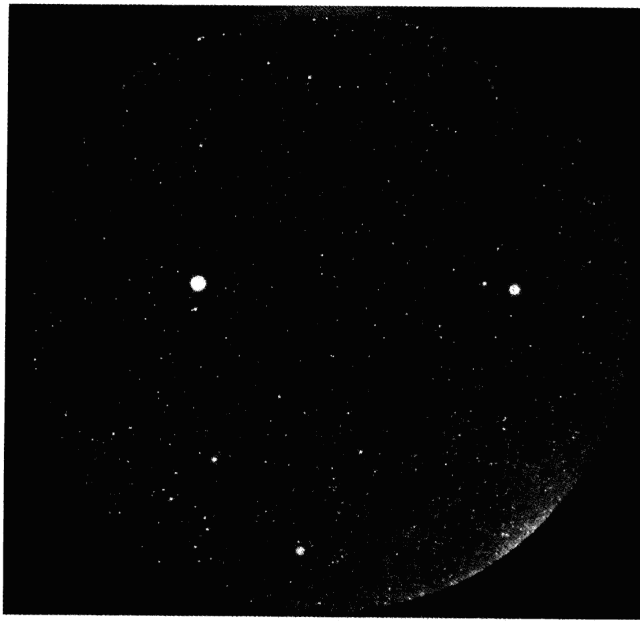
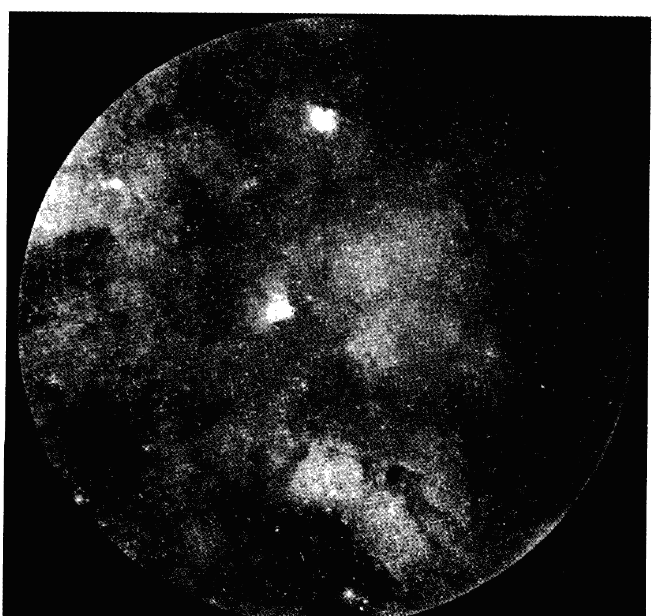


**图 585、586　距离银河平面不同的两个星区**

上图拍摄的是北极区，亮星是北极星。在每边 2 厘米相当于天上 1°的正方形内有星 400 枚。下图拍摄的是银河附近的半人马星区。虽然这两张照片的露光时间相等，拍摄到的星的数目却大有差异。在最密的区域里，每平方度有星 5 000 枚。下图是在银河里常见的发射星云和吸收星云。这两张照片的星数的比值，约为 12，这叫做银面聚度。



比是 250 比 1 600；对于 21 等星而言，这比例是 300 : 50 000。可见星愈暗，银面聚度增加得愈快。对于亮星而言，银面聚度很小；对于 21 等星而言，银面聚度便达 17。这种异常密集的事实说明银河为什么表现出它具有银白色的形态。

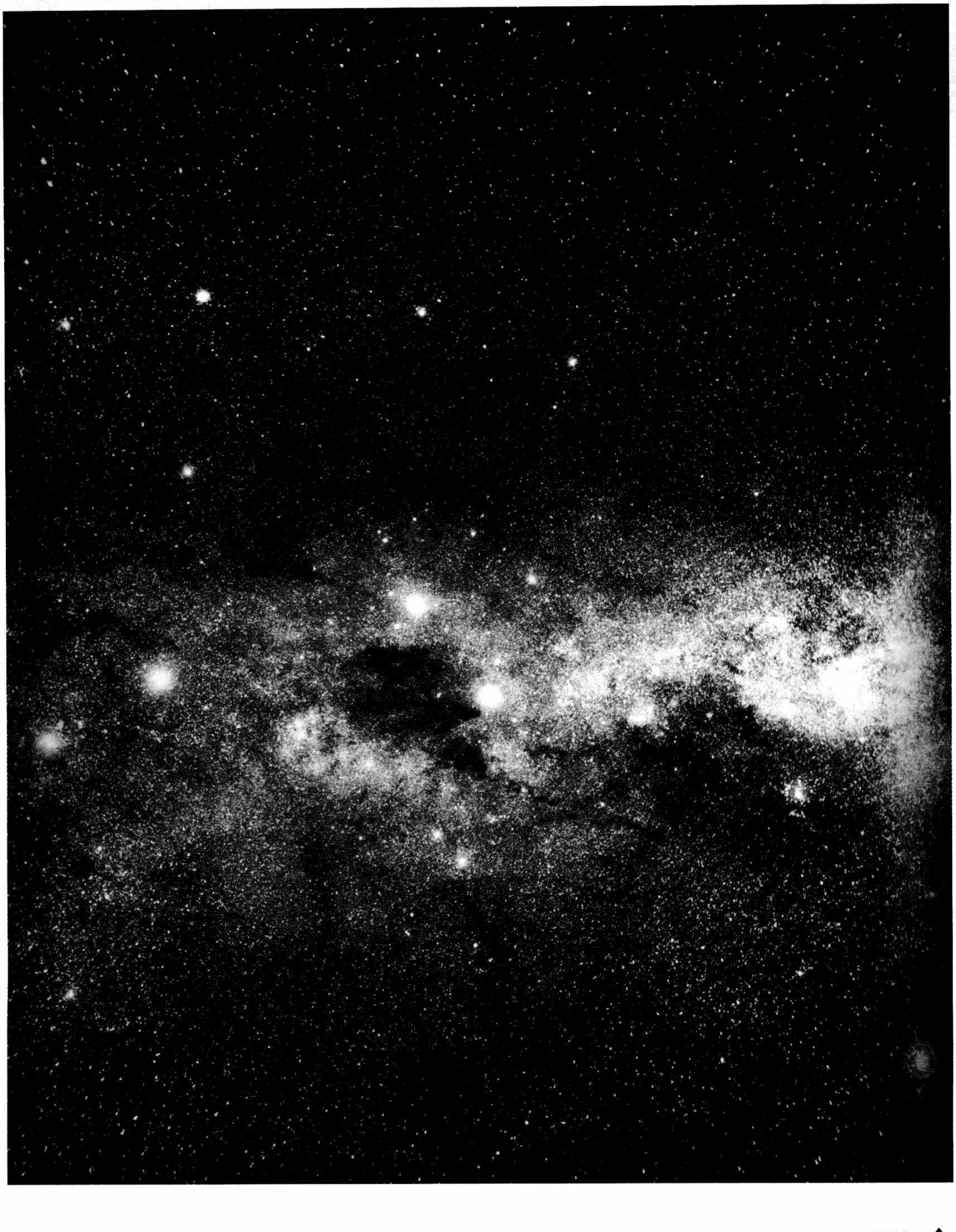
用望远镜观察到的银河的银色光辉，其实是个别星星光亮的组合。银河照片上的复杂结构，是由于空间有吸光的云，把某些银河区域里的星掩蔽了。迄今的照片表明，银河里的星沉没在由发光气体而来的星雾中，不过这个背景上的光亮比起星光来很是暗淡罢了。

银河的外貌是很容易解释的，只要假定我们所处的银河星系是很扁平的，而且在正交的方向上很薄。有些星显然是成群的。在 11 月或 12 月晴朗的夜里，谁不欣赏那一团亮星聚合而成的昴星团？它使我们联想到一棵由许多小蜡烛合成的圣诞树。这些星不是透视的、偶然的凑合，实际上彼此联系，

组成一个系统。以后我们还要讨论到几个星团，对它们的研究为恒星天文学增添许多宝贵的知识。

图 587　南十字星座附近的银河照片

这表明愈近银河星数愈增。在有些区域里好像没有星，这是由于吸光物质掩蔽的缘故。红光比较容易透过这些吸光物质，所以用红光拍照，相片上的星增多(参看图 583)。照片中央的大黑斑叫做“煤袋”。



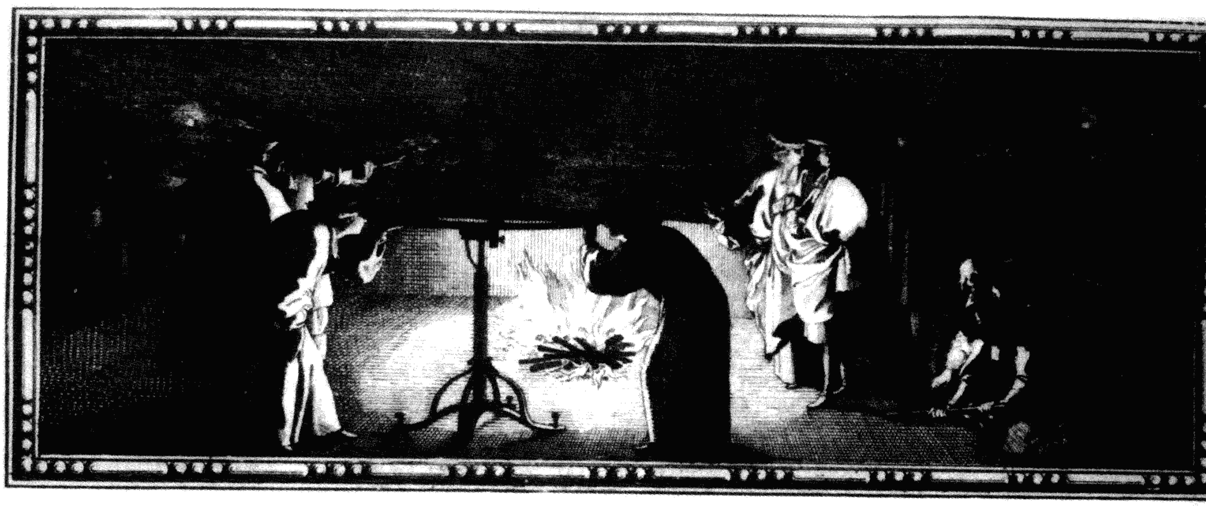


图 588　17 世纪的测地学者们怎样借三角网测量地球的大小(取自皮卡德于 1691 年所出版的《地球的测量》一书中的雕刻图)

# 第四十二章

# 星的距离

对星的距离的测量是一个很重要的问题,因为关于星的自身亮度和恒星宇宙的结构,都和对星的距离的认识分不开的。

首先测定星的距离的人是贝塞尔,时间在 1838 年。所用的测量方法在原则上是简单的,但是由于星的距离很远,在实测上是很细致的。大地测量常用的方法,也就是天文学上测量距离的方法。

大地测量者先在地上测量一个基线。在这条基线两端瞄准一个标点(例如钟楼),这两条视线不是平行的,对于愈近的目标这两条视线汇聚得愈快。在汇聚点上所成之角叫做视差。基线愈长,视差愈大,也就愈容易测量。

恒星天文学上唯一可以使用的最长的基线是地球轨道的直径。在一年里,地球围绕太阳运动,在地上的观测者周期性的改变位置,因此他感到,天上的星围绕着它自己的平均位置好像走了一个小圆周。这小圆平行于地球的轨道,它在天球上的投射便是一个椭圆,其长轴所夹的角便是视差的两倍,因为一般把地球轨道的半径当做基线(图 589)。

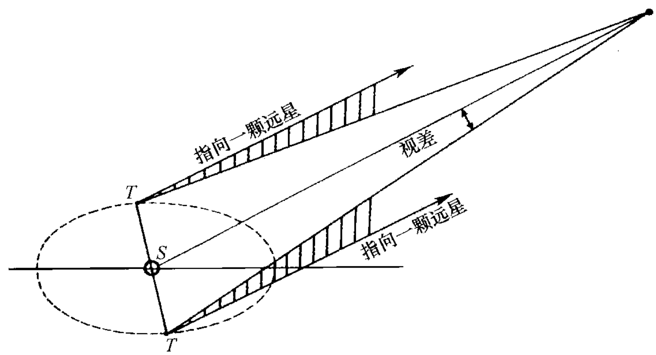



图 589　恒星视差的测量

我们说过，地球轨道的半径可以用地球半径的倍数来表示，所用的方法和刚才所说的方法很类似。这条基线是在地球上。例如两位观测者，一个在巴黎，一个在好望角。我们求得地球轨道的半径是地球半径的 2.35 万倍，即 1.5 亿千米。

恒星的视差很小，没有哪一颗星的视差是大于一弧秒的。一弧秒是一个直径一厘米的小球放在两千米以外所夹的角度。对于大多数的恒星，视差是小到绝对不能测量。这些远星也是很暗的星，可以把它们用作标志点，借照相的方法去测量近星的视差。

我们必须了解，这种因视差而形成的位移所达到的微小程度。最近的星视差是 0″.6，因视差而来的椭圆最长的部分，在焦距 4 米的望远镜里也不过是 30 微米。这数量虽然微小到难于测量，但是还可以测准到它数值的 1%。也就是说，离我们最近的星在测量它的距离时，也可能差到 1%。可是比这颗星远 100 倍的星，误差就会大到 50%；对于再远一些的星，测量的数字就更不可靠了。这种几何学的方法叫做三角法，很快就不适用了。

我们常用的单位，如米，甚至千米，都太短了，我们必须另创一种长度的单位来表示星的距离。这个单位所表示的距离，相当于地球轨道半径所配的角度是一弧秒时的那段距离。假使有一颗星的视差是一弧秒，和这相应的距离的单位叫做秒差距。所以，如果另外一颗星视差是 1%弧秒，它的距离便是 100 秒差距。用三角法，我们只能测到 100 秒差距。由几何学得知，一秒差距相当于地球轨道半径的 206 265 倍，即约等于地球轨道直径的 10 万倍。

如果用千米来表示秒差距，我们必须在 30 后面加上 12 个零，或写成 $30\times10^{12}$；更确切些，1 秒差距等于 $30.84\times10^{12}$ 千米。

有时我们还用一种更容易了解的单位，叫做光年。这是每秒行 30 万千米的光线在一年内所走的距离。一秒差距等于 3.26 光年。

下面是 10 颗近星的表：

近邻星

| | 施氏星表号数 | 星名 | 1975 | | 视星等 | 光谱型 | 距离（秒差距） | 绝对视星等 | 附注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 赤经 | 赤纬 | | | | | |
| 1 | 3278 | 半人马近邻星 | 14 时 27.9 分 | −62°35′ | 11 | M | 1.31 | 15.4 | |
| | 3309 | 半人马 α 星 | 14 时 37.9 分 | −60°45′ | 0.3 | G0 | 1.33 | 4.7 | 目视双星 |
| | | | | | 1.7 | K5 | | 6.1 | |
| 2 | 4098 | 巴纳德星 | 17 时 56.5 分 | +4°25′ | 9.5 | M5 | 1.83 | 13.1 | 双星 |
| 3 | 2553 | 沃尔夫 359 | 10 时 55.5 分 | +7°13′ | 13.5 | M8 | 2.48 | 16.6 | |
| 4 | 2576 | 拉朗德 21185 | 11 时 2.1 分 | +36°14′ | 7.5 | M2 | 2.51 | 10.7 | 双星 |
| 5 | 1577 | 天狼星 | 6 时 44.0 分 | —16°40′ | —1.6 | A0 | 2.76 | 1.3 | 目视双星 |
| 6 | 4338 | 罗斯 154 | 18 时 48.1 分 | −23°52′ | 10.6 | M6 | 2.85 | 13.7 | |
| 7 | 5736 | 罗斯 248 | 23 时 40.5 分 | +44°5′ | 12.2 | M6 | 3.16 | 14.7 | |
| 8 | 742 | 波江 ε | 3 时 31.8 分 | 9°33′ | 3.8 | K2 | 3.36 | 6.2 | |
| 9 | 2730 | | 11 时 47.4 分 | 0°39′ | 11.0 | M5 | 3.40 | 13.3 | |
| 10 | 5077 | 天鹅 61A | 20 时 4.6 分 | +38°27′ | 5.6 | K5 | 3.42 | 8.0 | 目视双星 |
| | | B | | | 6.3 | K7 | 8.7 | | |

〔是指施勒辛格尔(Schlesinger)的三角视差星表。——译者注〕

很久以来，天文学家就努力于测量星的距离。因距离很远，所要找到的视差效应很小，初期的失败是可以理解的。有两位天文学家因测量视差不成功，反而得到两个基本的发现，在这里叙述一下也是有趣的。1727 年布拉得雷想测量天龙 γ 星的距离，这是一颗 2 等星，它大致经过伦敦的天顶。他用折射望远镜瞄准天顶，在一年内测定这颗星在天上的确切位置。这种仪器很类似今天用来精测纬度的天顶仪。布拉得雷本来企图测量因地上的观测者视向变化而引起的视差效应。

布拉得雷惊异地发现，天龙 γ 星果然不是固定的，但是它走了一个长轴为 40″的轨道。这却不是视差的效应，因为这颗星运动的方向与这个效应是不相应的，他所观测的方向和要找的方向相差了 90°。他所发现的**光行差**，可由光线传播不是瞬间的这一事实来说明。观测者被地球绕太阳的公转带着运动，在他接收从星发出来的光时，星和地的相对位置便与光从星发出来时的情况不相同了。由简单的几何推理可以证明，由光行差而来的偏角是常数，而且和星的距离无关。光行差的偏角以弧度表示，便是地球公转的速度和光的速度之比，即万分之一，或 20″。布拉得雷没有弄错，他没有把这个效应当做是他要找的视差效应。因为在他 50 年前罗默已经测得光的速度，所以布拉得雷才有他的合理解释。以后我们还要谈到威廉 · 赫歇尔也因求星的视差，而发现了双星的相互运动。

上面说过贝塞尔于 1838 年首先成功地测得视差。这位德国的大天文学家兼数学家选了天鹅座里一颗小星，这颗星在弗拉姆斯蒂德的表中是天鹅座里的 61 号星。他不是随

意选定了这颗星的，而是因为它可能和我们很接近，因为它在天上动得很快。这表示它不是有很大的运动速度，就是和我们距离很近。贝塞尔测量了这颗星和周围的许多暗星之间的距离，证明了天鹅 61 号星因视差而来的运动，结果他寻得这颗星的视差是 1/3 弧秒。

这个惊人的成功引起亨德森（Henderson）重新整理他在好望角对半人马 α 星所做的观测，他求得这颗星比天鹅 61 号星约近 3 倍，半人马 α 是双星，它具有近星的一切特性：很亮、在天空中运行很快、伴星也有很迅速的运动。

贝塞尔所倡导的方法后来被采用在照相上，我们以后讨论到星的自行时，还要举一个例子来说明它。有几个天文台担任视差测量的工作。

美国天文学家施勒辛格尔（Schlesinger）将工作的方法改善，以致达到最高的境界。他的星表内有 6 000 个视差，约有 100 个大于 0″.11，即相当于 9 秒差距内的星。这个数目中约有一半的距离超过 50 秒差距（160 光年），当然定得不准确，因为误差和要测的距离是同数量级的。

这种困难使天文学家寻找别的测量很远距离的方法，但是没有一个方法能够使人完全满意。

下面再谈两个和三角法相似的方法。我们说过，太阳以每秒 20 千米的速度向武仙座里的一点运动，观测者被这种运动带着走了一条基线，在一年内已经走了地球轨道直径的两倍，而且这条基线随着时间在不断地增长。因此恒星由这种视差而产生的位移颇大，遗憾的是它和星的自行不能分开。为了避免这一困难，应该选择一群星为对象，就其平均的情况而言，这群星可以说是静止的。这种名叫**长期视差**的方法曾用以测定视星等超过 12 等的星的距离。

另外一种几何方法，曾用以测量移动星团。大熊座内大多数的星集体运动，具有相同的速度。将这群星中一些星的视运动和它们的视向速度（表示为每秒若干千米）加以比较，便可求出这个星团中所有的星的距离，这种方法可以达到很高的精确度。

在我们对于恒星宇宙的测探时，我们还要谈到测量星的距离的方法，现在我们谈一下从三角法求得的视差有些什么结论。

我们说过，以星等表示的星的视亮度，和星的本身亮度与距离有关。对于距离已知的星，可以设想把所有的星都放在同一距离处。这个标准距离选定为 10 秒差距，即约等于地球轨道直径的 100 万倍。下面要说明怎样消掉因距离在星等上所产生的影响。

例如有一颗 7 等星，位置在 100 秒差距处。设想把这颗星放到 10 秒差距的标准距离

处，我们将按照亮度随距离平方成反比的定律，增加它的明亮，它将会有 100 倍的明亮。这比例相当于 5 个星等。可见，这颗视星等为 7 的星，由 100 秒差距移到 10 秒差距，星等便成了 2，因此为便于叙述计，我们说这颗星的**绝对星**等是 2。



图 590 《累奥波耳公爵集》（16 世纪的天文学著作）的封面图

上一章的表中载有 20 颗最明亮的星，表中列入它们的距离和绝对星等。我们从表中可以看到，绝对星等从参宿七的－6.2 到半人马 α 的＋4.7 变化的范围已是相当大。所以这两颗星的绝对亮度很有差别，它们的绝对星等相差在 10 个单位以上。如果将距离的效应除掉，参宿七就会比半人马 α 亮 2.3 万倍。可是它们的视星等却很接近，这是因为参宿七比我们的近邻星半人马 α 要远 150 倍的缘故。当然，只根据这张表内亮星的绝对星等去了解一切星的自身亮度，那是得不到正确概念的。从这张表去了解星的特性，所犯的错误正如人种学家根据全城里最出色的 20 个居民去了解全城居民的身材一样。我们应当绝对避免这种抽样调查上的误差。由这张表可见双星的伴星常是很暗的，例如半人马 α 的第二颗伴星绝对星等是 15.4，比主星暗 1.9 万倍，比参宿七

暗 4 亿倍。

如果我们研究所有的近邻星，标本就要好些。例如，根据 100 颗离我们最近的星的那张表，就是从绝对星等是 1.3 的天狼星到沃尔夫星表 359 号那颗视星等是 13 而绝对星等是 16.6 的星。这张表说明，绝对星等大的因而自身亮度小的星为最多。如果这张表包括所有的亮星，而只遗漏了一些暗星，以上这个结论当然是更正确了。

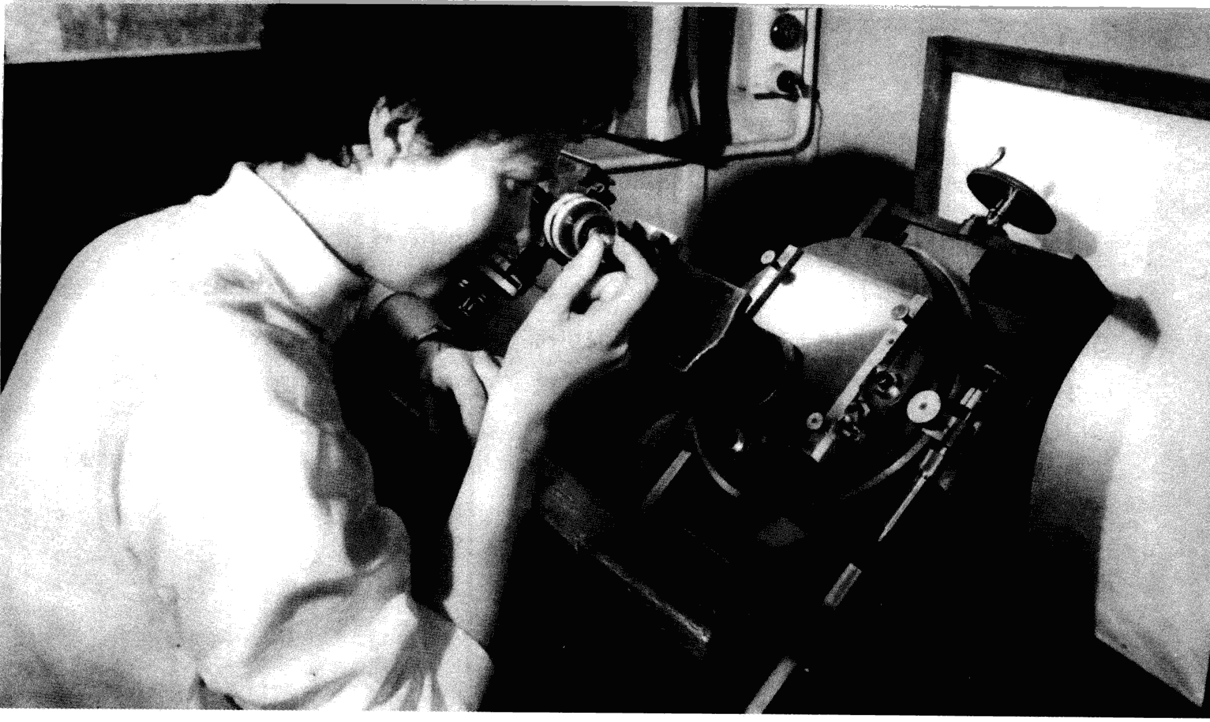


图 591　天图照片的测量

# 第四十三章

# 星的自行

自从用大型子午仪观测到恒星的很准确的方位后，人们便觉察恒星的位置不是固定的。天文学家所测得的坐标都是相对于观测时的赤道和春分点的坐标，所以应当把他们的结果归算到一个固定的系统，例如相当于 1900 年开始的坐标系。如果将这样的校正加在不同时期的观测上，所得的结果仍然不相同；如果把这些位置绘在大尺度的坐标纸上，我们就会发现星按等速运动在改变它们的方位。

星在天球上的这种位移名叫自行，它的测定常表示为每一年内有若干弧秒。星移动的方向以位置角表示，从北方计算到星的位移的方向去。我们把半人马 α 星自行中的这些数据表示在图 592 之内，因为这是近星，所以自行特别显著。这幅图的尺度相当于绘制在以两千米为半径的球上的天图，如果绘出全天，便需要 5 000 万平方米的纸张。这个比

喻使我们明白星的自行是怎样的渺小，古人把星叫做恒星，确是很接近于事实的。

如果我们再知道星的距离，我们便可算出相当于它的自行的直线速度。对于半人马 α 星而言，这个速度是 32 千米/秒，它和地球在公转轨道上运行的速度(30 千米/秒)是同数量级的。

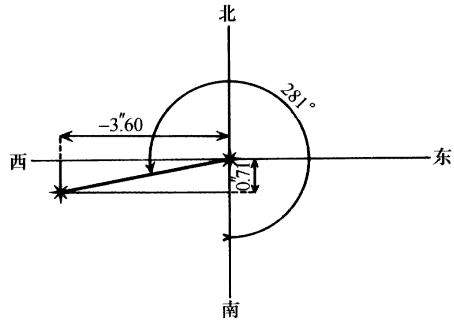



图 592　星的位置角的测量

后面表列入 19 颗自行大的星。自行最大的是一颗被巴纳德所找到的 10 等星，每年位移 10″之多。观测这颗星只需几个星期，便可感觉到它的移动，因为子午仪的观测容易查出赤经上的0.1″的变化。范·德·康(Van de Kamp)所拍的这颗星的照片(图 593)，表现了这颗星的自行大和视差效应的重合效应，使它离开了它的直线的轨迹。这样大的运动是特殊的，只有距离很近而空间速度又很快的星才有这样的现象。后面表内所有的星对于距离近和运动快这两个特征，必具其一，或是两者兼有。一般的星自行都很小，要去测量它们是很困难的。多年来的子午仪观测提供了一些基本星的自行，刊载于 $FK_3$ 星表之中，计有 1 535 颗亮于 6 等的星。

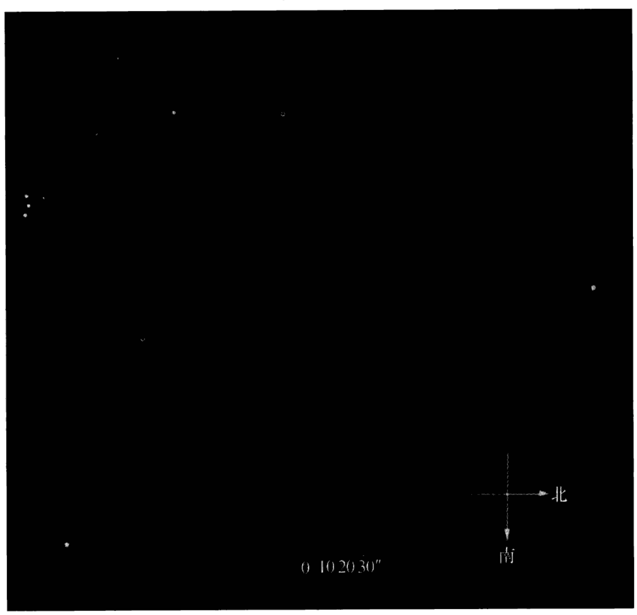



图 593　相隔 6 个月的三张照片的重合，表现了左上方巴纳德星的巨大改位。这种位移不是直线的，因为视差的效应加在自行里面。视差使星移向太阳所在的方向；第二次露光，太阳在东，其余两次太阳在西

另外还有八个星表包含 32 万多颗星的自行，它们都是和这 1 535 颗基本星比较得来的。它们是用子午仪或用照相观测决定，各组观测中间经历的时间由 13～40 年不等。

现在用好望角天文台杰克逊(Jackson)的工作来做一个例子，来说明借照相测量自行的方法。对于要研究的某一颗星每六个月拍摄一次，于是在照片上精确地测量这颗星相对于邻近的暗星在赤经上的改位。图 594 说明《总星表》里一颗星的实测结果：图上的点

分布在一条直线的两旁，像正弦曲线的形式，其半变幅即是视差，和它对应的整体位移便是赤经上的自行。这颗星的视差和自行的分量载于图中。

**自行大的星**

| 星名 | 星等 | 光谱型 | 方位(1975) | | 自行 | 空间速度(千米/秒) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 赤经 | 赤纬 | | |
| 科尔多瓦(Cordoba)星表 32416 | 8.3 | Ma | 0 时 3.2 分 | −37°29′ | 6″.11 | 134 |
| 万・玛伦星 | 12.34 | F0 | 0 时 47.8 分 | +5°19′ | 3″.01 | |
| 仙后 μ | 5.26 | G5 | 1 时 6.1 分 | +54°50′ | 3″.76 | 168 |
| 波江 φ | 4.30 | G5 | 3 时 18.5 分 | −43°11′ | 3″.16 | 128 |
| 波江 o | 4.48 | G5 | 4 时 14.3 分 | −7°38′ | 4″.08 | 101 |
| 卡普坦星 | 8.8 | M0 | 5 时 9.7 分 | −49°53′ | 8″.76 | 287 |
| 沃尔夫星表 359 | 13.5 | M6e | 10 时 55.6 分 | +7°13′ | 4″.48 | |
| 鹿豹 22H | 7.60 | M2 | 11 时 2.0 分 | +36°14′ | 4″.78 | 105 |
| BO 星表 7899 | 8.9 | Ma | 11 时 4.9 分 | +43°38′ | 4″.52 | 136 |
| 英尼斯星 | 12.5 | | 11 时 15.6 分 | −57°27′ | 2″.69 | |
| 格鲁姆伯吉星表 1830 | 6.46 | G5 | 11 时 51.0 分 | +38°1′ | 7″.05 | 348 |
| 沃尔夫星表 489 | 13 | | 13 时 35.6 分 | +3°50′ | 3″.94 | |
| 半人马比邻星 | 10.5 | M | 14 时 27.9 分 | −62°35′ | 3″.68 | |
| 半人马 α 星 | 0.06 | G0-K5 | 14 时 37.9 分 | −60°45′ | 3″.68 | 32 |
| OAs 星表 14320 | 9.9 | G5 | 15 时 8.3 分 | +15°42′ | 3″.68 | 660 |
| 巴纳德星 | 9.67 | M5 | 17 时 56.5 分 | +4°25′ | 10″.30 | 149 |
| 天鹅 61 | 5.12 | K6 | 21 时 5.2 分 | +38°33′ | 5″.27 | 105 |
| 印第安 ε | 4.74 | G5 | 22 时 0.8 分 | −56°51′ | 4″.70 | 89 |
| 科多瓦星表 31353 | 7.44 | Ma | 23 时 4.7 分 | −36°0′ | 6″.90 | 122 |

让我们仔细研究一个星表，例如博斯在 1937 年所发表的《总星表》，其中有 33 342 颗亮于 10 等星的自行，这其中有 26 978 颗星的自行每年小于 1%弧秒，只有 100 多颗超过 1/10 弧秒。星愈暗，有自行大的星便愈稀少。任意在银河里选出 14 等和 15 等的星 2 000 颗，其中只有一颗星的自行超过 1/10 弧秒。

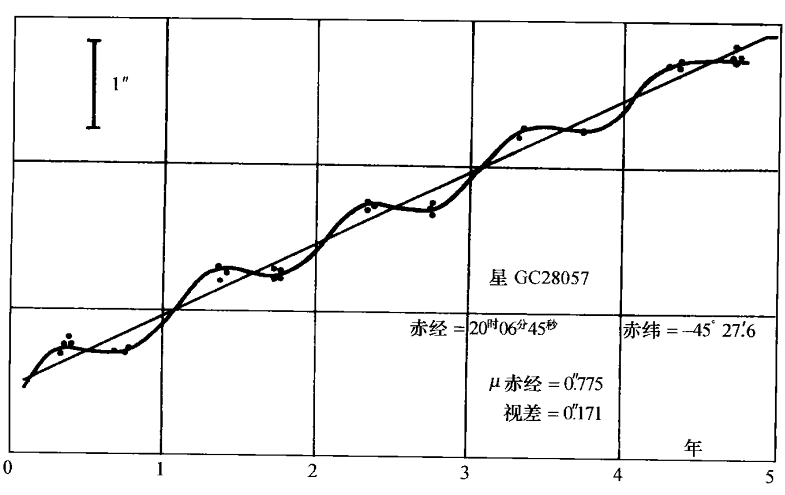



图 594 表明有一振幅为 0″.171 的摆动，那是视差的效应；还有一个是 0″.775 的周年位移，那是自行的结果

汉堡天文台发表《自行词典》(简称 E. B. L.),记载所有曾被测量过的恒星的自行。

空间里恒星的自行是怎样分布的呢?自行是完全无规律的呢,还是遵循某些规律呢?

以大熊座内主要的星为例来说明一下。我们在图 595 上绘出这几颗星,每一颗星都向附在它上面的箭头的方向移动,箭头的长度代表每颗星在 10 万年内的位移。看图便知,除了 α 和 η 两颗星之外,其余的星的动向差不多是平行的,因此我们可以设想,这些星是作为一个整体在空间移动,它们形成一个星流。大熊座里这个星流共有 126 颗星,人们曾经仔细地研究过。

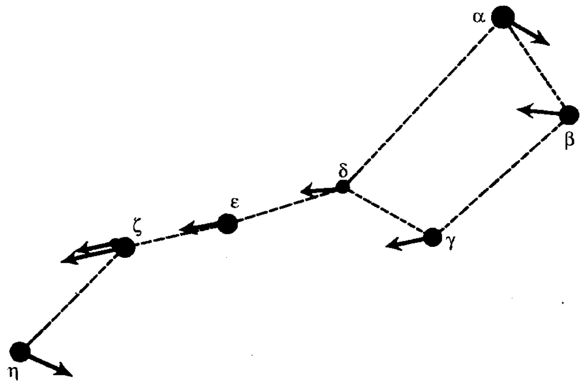


图 595　北斗七星的自行

还有别的星参加别的星流。例如,猎户座里许多亮星组成一个星流。金牛座里的毕星团和昴星团形成两个不同的星流,这两个星流在天球上的接近,纯粹是透视的现象。

同一星流里星的速度都很接近,因此同一星流的星所组成的疏散星团,比通常星座在外貌上的变化要慢得多。

图 596 表示大熊座在 10 万年前和 10 万年后的形状。石器时代的人所看见的天空情况和我们所看见的并无多大差异,那时的星空虽然不围绕着现在的极星旋转,但是星座的形状却和今天的形状相差不远。我们曾经找到很古老的大熊星座图,一切细节,特别是开阳(ζ)和它的伴星,都表现得很明显。我们的祖先也注意到星的亮度,他们把伴星绘得比主星要小一些。这幅图可能是根据夜晚观测的记忆,在白天绘出的,那是更值得称赞了。

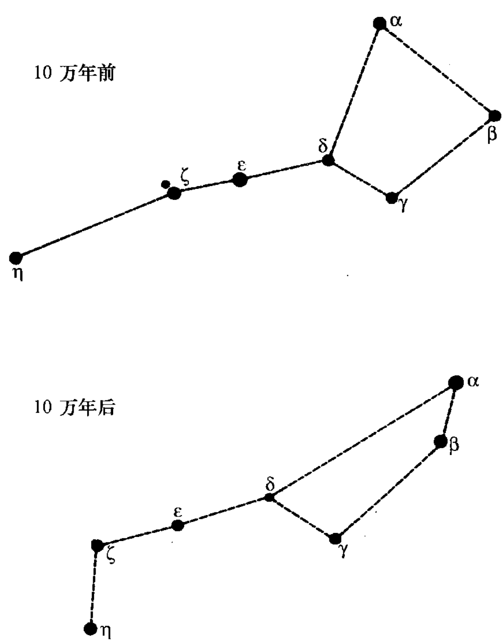


图 596　10 万年前后北斗的形状

我们想比较这些刻在石头或贝壳上的大熊座星图与现今情况的差别，去考证这些星图的年代。有一幅图就这样被估计为3万年前的作品，但结果却不可靠，这幅图没有确切绘出各星座的大小比例，而且有一颗多余的星。



图597　昴星团内(昴宿五)周围的星云气

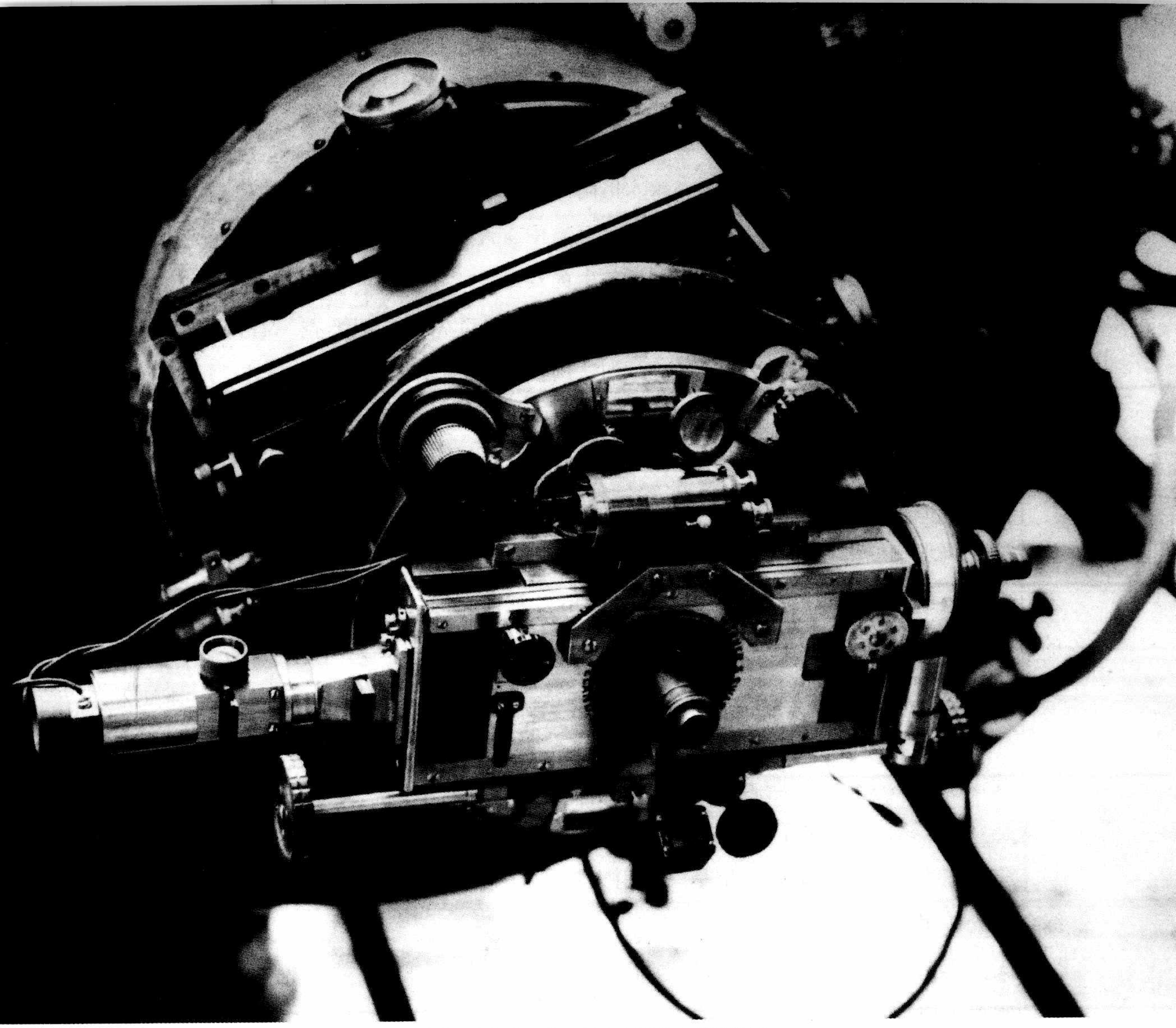


图 598　叶凯士天文台的大折射镜上的测微器

# 第四十四章

# 双　　星

望远镜的观测表明，许多星是成双的，即由两颗异常接近的星所组成的一对，它们的颜色和光亮常是不同的。把一个小型望远镜瞄准美丽的十字星座末尾的天鹅 β 星，我们

就可以看见，这颗3等星伴着另外一颗8倍暗的亮星，很是好看。这颗星真像是天空的宝石：黄色的主星下面悬着一颗蓝色的小星。天空中有许多对双星，它们的颜色和光亮引起观测者的注意。后面的表记载了25对最美丽的双星。

人们用小型望远镜很容易观测到这些双星。我们可先在星图上查一查，然后在天空中就容易寻找了。在北方高纬度的地方，如法国，就看不见美丽的双星南十字α，可是可以看见两颗白星所组成的开阳（大熊ζ）和一黄一蓝的天鹅β，以及一黄一青的仙女γ三对有名的双星。

还有所谓聚星的：仙女γ在小望远镜里是3等和5等的两颗星，相距约有10″，但大型望远镜更将那颗5等星分为两颗非常接近的成员。巨蟹ζ星是三联星，它很容易用天文爱好者的小型望远镜观测到。这是由三颗差不多一样亮的星所组成的，星等5.0和5.7的两颗相距1″，还有一颗星等5.5的相距5″。织女附近的天琴ε是由四颗星所组成的，它具有两对差不多相同的星：第一对星等是4.6和6.3，相隔2″.9，第二对星等是4.9和5.2，相隔2″.3，两对星彼此相隔有3°28′。

我们可以继续指出这些天空的奇景，以至无穷尽，因为天文学家用愈精密的望远镜研究天空，便愈多地发现这样相聚的星系。

猎户座大星云里的六联聚星是一个引人注目的星系，六颗蓝色的星沉浸在星云的淡绿色的光辉里面。

天文学家研究的工具愈增加，便愈能将单颗的星分析为双星。在讨论这个问题以前，我们需要解释一下仪器的光学性能。



图599 衍射环和中心斑

上图自左至右是露光时间递增的情况。露光短时，只有中心斑点；露光时间逐渐加长，就先出现一个，继后出现两个、三个衍射环，中心斑颜色变得浓厚一些，但直径不变。下图是一系列距离逐渐接近的人造双星的照片。自左至右两星由显然是分离的，而逐渐合拢，最右的图像上两星不能分辨，而成了一颗椭长的星。

在很晴朗的天气，如果我们用12厘米口径的望远镜去看星，透过小倍率的目镜，星象成点状，比肉眼所看见的要亮400倍。目镜的倍率逐渐增大，到了100至200倍的时候，星象便不是一点，而形成半径为1弧秒的小圆轮，周围有一个或几个光环，有如图599内所表现的那样。这种奇特的现象是由望远镜而不是由星而来，这是用观测可以证明的：这

些圆轮和光环的直径对于所有的无论明暗的星均属相同，但是随仪器而大有变化。如果我们在物镜前面放上一个直径为6厘米的光圈，我们便立刻察觉不但星象的亮度减少，而且中心黑点和光环的直径都变长了，在这一例子里便是加了1倍；如果使用24厘米口径的折射或反射望远镜，星象更是清晰，它的直径恰恰是1弧秒；如果使用120厘米口径的望远镜，星象更是10倍的清晰，直径只有0.2弧秒。当然这些结果，都是假设在完全澄静的大气里获得的。

**双星**

| 星名 | 方位(1975) | | 星等 | 距离 | 颜色 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 赤经 | 赤纬 | | | |
| 仙后 η | 0 时 47.5 分 | +57°42′ | 3.7～7.4 | 9″.6 | 黄与红 |
| 白羊 γ | 1 时 52.1 分 | +19°10′ | 4.2～4.4 | 8″.0 | 黄 |
| 双鱼 α | 2 时 0.9 分 | +2°39′ | 4.3～5.2 | 2″.2 | 白 |
| 仙女 γ | 2 时 2.3 分 | +42°12′ | 2.3～5.1 | 9″.8 | 黄与青 |
| 猎户 ζ | 5 时 38.4 分 | −1°58′ | 2.0～5.7 | 2″.1 | 白 |
| 双子 α | 7 时 33.4 分 | +31°56′ | 2.7～3.7 | 2″.7 | 白 |
| 狮子 γ | 10 时 18.6 分 | +19°59′ | 2.0～3.5 | 3″.9 | 金黄 |
| 大熊 ξ | 11 时 16.8 分 | +31°41′ | 4.4～4.9 | 1″.5 | 金黄 |
| 南十字 α | 12 时 25.1 分 | −62°58′ | 1.4～1.9 | 4″.7 | 白 |
| 室女 γ | 12 时 40.3 分 | −1°19′ | 3.7～3.7 | 5″.5 | 黄 |
| 猎犬 α | 12 时 54.8 分 | +38°27′ | 2.9～5.4 | 19″.8 | 白 |
| 大熊 ζ | 13 时 22.9 分 | +55°4′ | 2.1～4.2 | 14″.3 | 白 |
| 半人马 α | 14 时 37.9 分 | −60°45′ | 0.3～1.7 | 9″.9 | 金黄 |
| 牧夫 ε | 14 时 44.0 分 | +27°11′ | 3.0～6.3 | 2″.8 | 黄与青 |
| 巨蛇 δ | 15 时 33°6 分 | +10°37′ | 4.2～5.2 | 3″.7 | 淡蓝 |
| 天蝎 β | 16 时 3.9 分 | −19°44′ | 2.9～5.5 | 13″.3 | 白 |
| 天蝎 α | 16 时 27.9 分 | −26°23′ | 1.2～6.5 | 2″.9 | 橙与青 |
| 武仙 α | 17 时 13.5 分 | +14°24′ | 3.5～5.4 | 4″.7 | 橙与青 |
| 武仙 ρ | 17 时 23.0 分 | +37°10′ | 4.5～5.5 | 4″.0 | 白 |
| 蛇夫 70 | 18 时 4.2 分 | +2°31′ | 4.1～6.1 | 6″.0 | 玫瑰色 |
| 巨蛇 θ | 18 时 54.9 分 | +4°10′ | 4.5～5.4 | 22″.2 | 白 |
| 天鹅 β | 19 时 29.7 分 | +27°55′ | 3.2～5.4 | 34″.5 | 黄与蓝 |
| 海豚 γ | 20 时 45.5 分 | +16°2′ | 4.5～5.5 | 10″.4 | 黄与青 |
| 宝瓶 ζ | 22 时 27.6 分 | −0°10′ | 4.4～4.6 | 2″.3 | 黄 |
| 仙王 δ | 22 时 28.2 分 | +58°16′ | 3.6 变至 4.3～5.3 | 41″.0 | 黄与蓝 |

我们将怎样去解释这种现象呢？光的波动理论使我们懂得星象的情况。物理学家和天文学家惠更斯于17世纪宣布一个原则，按照这个原则，望远镜的物镜上每一个微小的表面部分所起的作用，犹如一个向各方发射的光源。当这表面对光波波长而言是小的时候，如像一个针孔那样小，这就是我们所看见的情况。如果表面相当大，则需复杂的计算

才可以求出目镜视野里每一点的亮度。这亮度在那些点可能是零,因为光是一种振动。两个相反的运动加在一起可以造成静止,两束光波加在一起可以造成黑暗。因此,我们可以计算望远镜的物镜所形成的衍射花样的情况。这花样的直径与物镜的直径成反比,与光的波长成正比。

这种衍射理论可以应用到电磁波的一切区域,从紫外线至可见波,以至射电波。我们将要叙述,有些星人们可以用射电望远镜接收它们所发出的1米长的电波。对于射电望远镜,衍射便起着很大的作用。

大口径的望远镜比小口径的聚光多,因而所成的像更有精细的结构。当然有一个必需的条件,那便是折射或反射望远镜的构造必须完美,而且在星光通过时,大气必须很澄静。

世界上有几座大型折射望远镜,它们的物镜完美到接近于理论的要求。物镜的表面是球形的,应当磨得精确到0.01毫米,玻璃不该有丝毫的缺点,折射率应该到处相同,总之,一切都需要达到很高的精确度。

口径最大的(102厘米)折射物镜在叶凯士天文台,它是克拉克(Clark)磨制的,现今还没有谁能超过它。这座大型望远镜可以把近到0″.12的双星分开。从事双星观测的天文工作者很愿意用折射望远镜而不用反射望远镜,因为反射镜不如折射镜成像清晰而稳定。反射镜成像的不稳定有两个原因:反射镜面哪怕有一点小弯曲,便使所成的像很坏;但折射镜面上如有同样的弯曲,对于所成的像却没有什么影响。另外,因热而生的变形也有同样的情况。对精密的测量和细节的研究,折射镜比反射镜优良得多。当然,反射镜也有别的优点,所以近代的大型望远镜都是反射的。

大气应该很澄静。纵然有优良的望远镜,如果透过扰动的大气去观测,结果也不会好的。大家都看过云彩被强风刮去后的蔚蓝天空,可是在法国南部北风吹动,星光闪烁。天顶的星也在抖动,每秒钟里明暗可以改变几次,至于在地平线附近的星,颜色变化成多色的光辉。这种现象很容易得到解释:光线在扰动的大气里向各个方向摇摆不定。

这种摇摆不是因为空气的运动,而是由于温度不同的气层在互相掺合。当你的视线掠过被太阳晒热的屋顶,去看远处的一个东西,你就会看见细丝般的热空气扰动你的视线,很明显地表现出上面所说的那种效应上。我们想对这个问题在下一段再详细叙述一下,看来有望远镜的天文爱好者定能对此感兴趣,别的读者可以略去下面这一段。

设想在3千米或4千米高处有一不连续的大气层,那里波动的情况与海面大致一样。光线由凸处到凹处,它偏折向一面,跟着又由凹处到凸处,光线又偏折向另一面。连续两

个凸处的距离大约是 20～30 厘米，用眼睛可以看得出来。将 30～40 厘米口径的望远镜指向一颗亮星，去掉目镜，只用肉眼去看，在大气澄静的时候，物镜的各部分均匀地被照射着；如果大气在扰动，物镜前面有许多气流的波动经过，不用说，在这样情形下所观测的星象是不好的。

我们可以将星象的不稳定的程度表示为光线环绕它的平均位置的偏向度。这数量叫做湍流。我们可以将望远镜固定，拍一颗星的像，去测量湍流。星在赤纬圈上移动所成的像不是一条很有规则的曲线，而成了一条动荡的、锯齿形的曲线（图 600）。

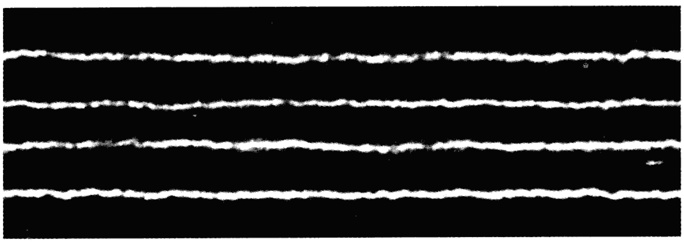


图 600　将折射镜固定，底片在焦面上的照相。如果没有大气的扰乱，星象所留下的线是有规则的；因大气扰乱造成许多钩状的像。图中四条线显然有相当大的差异

湍流效应随物镜的口径很有变化，这是不难了解的：0″.1 的小湍流在 12 厘米口径的望远镜里是看不见的，因为它只能表现 1″的细节；但是在能分辨 0″.1 细节的 120 厘米口径的望远镜里，湍流效应就很显著。所以，这种大口径的望远镜需要完全澄静的大气，才能得到满意的效果。

这种理想的境界即使在选定的地点也难办到，但是小口径的望远镜常能达到它的满意的效果。

有一些天文爱好者就此认为，在这种情况下，小仪器是最好的，甚至有的人将大的物镜加上光阑。事实上绝不是这样，好物镜应当利用它整个的口径，如果加上光阑，星象也许澄静一点，扰动虽然被隐藏，可是同时也损失了星象的细节。

通常我们所用的规则是这样的：对于一定的物镜，如果湍流大于分辨力，星象则是模糊的。衍射环只在湍流小于分辨力的 1/2 的时候才可以看见；当湍流小于分辨力 1/4 时，星象便是优良的。

在一个没有湍流的晴朗的夜里，60 厘米口径的折射镜可以分辨出相距 0″.05 的两颗星，而且至少也需要口径有这样大的望远镜。如果湍流是 1″，便没有任何望远镜可以达到这样的分辨力。60 厘米口径的折射镜和 12 厘米口径的折射镜一样可以分辨相距 2″的两颗星，当然，使用 60 厘米口径的折射镜容易观测得多。

这种扰动对于双星的观测是很有妨碍的。除了这种高层大气所产生的干扰之外，时常还有一些局部的扰动，这种扰动过程较慢，但可以将视野里的星同时移动，这和两颗很接近的星象由于高层大气的波动而发生不一致的变化是不相同的。这些反常折射对于方位天文学特别有妨碍，因为它们改变了星的视位置。

## 双星的测量

现在回到这一章的主题，来谈谈双星。有两个数量可以表示双星的情况：即用弧秒来表示两星之间的距离以及两星的连线在天球上的方位。试从主星的中心至伴星引一直线，这直线和正北方向所成的角叫做方位角，角的正方向是北东南西(图 601)。

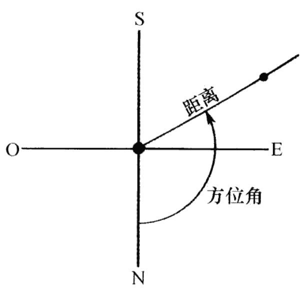
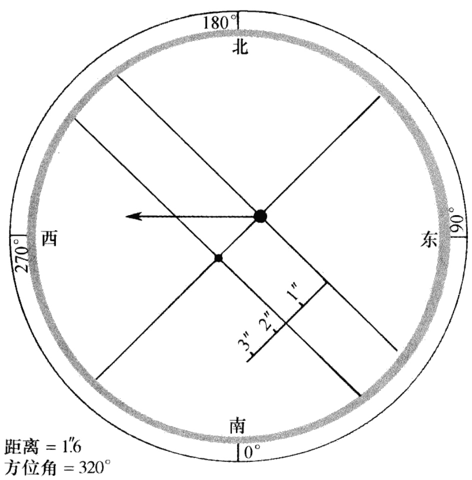


图 601 双星的测量

有几种测量双星的方法。最早的经典性的仪器是动丝测微器。它的原理是很简单的：在望远镜的焦面上装有两根固定而且垂直的丝。另外一根丝装置在具有测微螺旋的可动的度盘上。这根可动的丝和一根固定的丝平行，这两根丝组成测量用的双丝(图 602)。



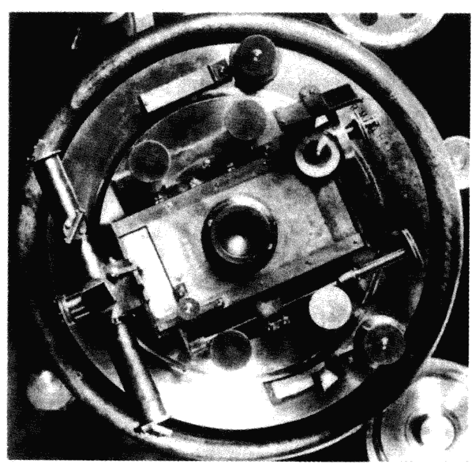



图 602、603 观测双星的测微器

中心是目镜，左边是照明丝的灯光设备，上面是测量丝之间距离的测微鼓。整个测微器绕望远镜的轴转动，方位角在下边略微偏右的度盘上读出。

测微器可以围绕望远镜的轴旋转，所以可以使可动的丝平行于连接双星的线。测微

器旋转的角度可以在刻度盘上读出，于是可以求得方位角。将固定的丝压在主星上，可动的丝压在伴星上，于是使测量的丝恰好平分双星。通常还将这程序逆转，固定的丝压着伴星，可动的丝压着主星重测一遍。测微螺旋上两次读数之差便是这对双星距离的两倍，这种以毫米计的读数，因已知螺旋的周值，便容易改为弧秒。这种螺旋周值的求得，或利用物镜的已知焦距，或直接测量用子午仪已经测得很准的星的距离。昴星团里的星特别适宜于做这种测定标准的工作。

动丝测微器在有经验的观测者的手里是一种很精密的仪器，许多双星观测者只用这种仪器(图 603)。

人们还发明另外几种测微器，著名的一种是缪勒尔(Muller)测微器，那是根据双折射晶体的原理所制成的。这种晶体将双星分解成距离可以调节的两对星。我们可以把这四个星象的位置安放成一种几何图形，这样测量便可达到很高的精确度。使用这种仪器的优点是，不需将星压在线上，因为这样的校准需要长期的训练，而且因反常的大气折射，可能发生误差。另外一个优点便是，将一对星象对于另外一对作某一已知量的变暗，这样便可测量主伴两星之间亮度的差异。

还有测量双星的第三种办法，在下面我们叙述怎样测量星的直径时还要谈到。这种方法是利用光的波动性质，特别用于很紧密的双星。

也可以使用照相的方法来测量双星。这种方法经赫茨普龙(Hertzsprung)倡导，即是在物镜前面加上许多平行丝所做成的粗光栅，这样便在主星两旁造成许多假伴星，它们的位置容易由光栅的方位和平行丝的条数计算出来。这种方法对于远距双星的测量是优良的，可是对于近距双星，却不如目视的方法。

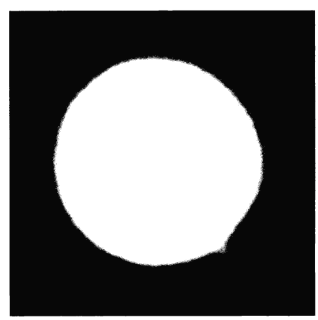


**图 604　天狼星同它的伴星**

主星比伴星亮 1 万倍，因底片的漫射光，主星扩大成一个圆盘。

最早被人确切发现为双星的是大熊 ζ 星(即开阳)，那是 1650 年意大利天文学家里希奥利(J. B. Riccioli)发现的。此外，胡克(Hooke)于 1664 年发现白羊 γ 星、卡西尼于 1678 年发现天蝎 β 和双子 α 都是双星。弗拉姆斯蒂德首先使用测微器。第一个双星星表于 1781 年刊载在 1784 年的《德国天文年历》内。这个由波得(Bode)做的星表有 89 对双星，其中许多观测是迈耶尔(Mayer)做的。但是双星观测的历史却应该从威廉 · 赫歇尔的工作算起。赫歇尔有“业余爱好者王子”的称号，赫歇尔对双星的工作可以作为这样一个例子：一个不正确的假设可以导引一位天才的观察者得到一个伟大的发现。赫歇尔起初

认为很接近的两颗星是透视的现象，他想把暗星当做背景，去测量因地球环绕太阳而生的视差位移。结果，赫歇尔没有找到视差，却发现两星互相围绕的运动，即在空间里很接近的两颗星形成有物理关系的系统。

赫歇尔于 1782 年、1783 年和 1804 年发表了三个星表，包括 846 对双星，大部分是他本人所发现的。1803 年他宣布了五对星的运转周期。赫歇尔的观测条件很差，因为他既没有赤道仪的装置，而且他的测微器又很不完善，所以他不能做出精密的测量。他所发表的五对星的周期，仅是一种数量级，只说明双星周期之长要以世纪计算，其中只有双子 α 星的周期(342 年)曾经被后人证实。

双星的观测者威廉·斯特鲁维(Wilhelm Struve，记号是 Σ)是值得称道的。他在多尔帕特(Dorpat)观测过 795 对双星之后，从 1824 年 11 月至 1827 年 2 月为了系统地发现双星，他考查了 12 万颗星。他的星表发表于 1827 年，表内包括 3 112 对双星。他被沙皇尼古拉一世任命为普尔科沃天文台台长以后，仍然继续他双星观测的工作。

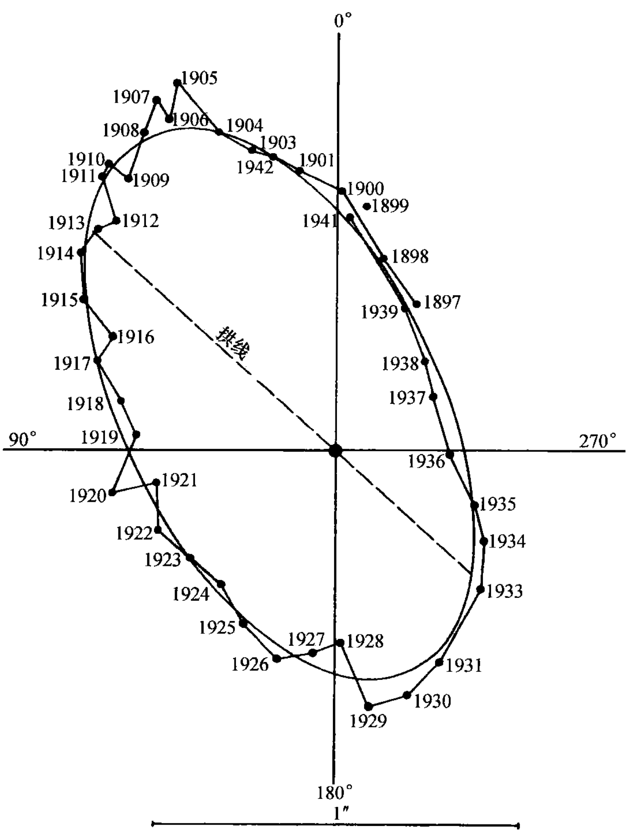



图 605　**北冕 η 双星，周期为 42 年**

伴星的运动很有规则，图中曲折形状是由观测的误差而来，这样的双星很密集，最大的距离是 1 弧秒(这是丹戎计算的轨道)。

这两位天文学家的承继者都是他们的儿子，约翰·赫歇尔和奥特·斯特鲁维。后者于 1853 年所发表的星表(OΣ)是有价值的，表内包含有许多迄今还在观测的双星。约翰·赫歇尔的工作却不能和他父亲的工作相比拟。

在近代，还有许多职业的和业余的天文学家坚持不懈地从事双星的观测，因为正如我们在下面将要叙述到的，即从双星的研究里可以

得到伟大的发现，所以人们对于双星观测的兴趣从来没有减少。我们还可以提到伯纳姆(Burnham)于1906年发表的星表，包括有13 665对双星。艾特肯(Aitken)于1932年发表的星表，包括有17 180对双星。在现今还存在的天文观测者当中，我们应该举出美国范·比斯布洛克(Van Biesbroeck)和法国容克西尔(R. Jonckheere)。在前人已经收获不少以后，容克西尔还发现3 300对新双星，这是值得称道的。

天文学家常以星表的制作者姓氏的头一个字母和星表中的号数作为双星的命名。例如大熊$\xi$星是威廉·斯特鲁维发现的，在他星表里的号数是1 523，于是这颗双星便记为$\Sigma$ 1 523。这颗星在艾特肯星表里的号数是8 119，所以它又叫做ADS8119。

我们说过，赫歇尔因欲测量视差而发现有互相旋绕运动的双星，这种双星叫做物理双星。现在，我们试研究一下有好多对因透视的效果而挨近在一起的双星。由下面所作的简单的讲解，我们可以对这种光学双星有一个大略的了解。在整个天球上有6 000颗亮于6等的星。设想在每颗星的周围绘一个半径为10″的圆，所有这些圆圈整个的面积只占全天面积的二十五万分之一。如果我们在天空中放上一颗星，那么要把它放在离已知的星相距10″的范围以内的机会也只有二十五万分之一。如果把这种设想推广到肉眼可见的6 000颗星上去，要使有一对双星是由于偶然的凑合而形成的概率就只有1/80，换句话说，即是要使亮于6等的两颗星接近到可以形成一对光学双星的机会也只有那样少。可是像这样的双星我们却已找着几十对，也就是说，这些双星形成的概率比只因透视的偶然结合要大几千倍，所以这样看来，有些双星在空间里实际上是彼此接近的，我们把这样的双星叫做物理双星。

当然，随着星的数目的增加，光学双星的数目也增加。暗于10等、相距超过6″的双星，大部分都是光学双星。艾特肯主张不要把这样的光学双星列入双星星表内，可是这样做的话，也就会丢掉一些紧密的物理双星。

当我们测量出一颗星在某一轨道上围绕着它运转的时候，它们的物理联系便得到证实。但因双星的测量有相当的困难，在方位角的测量上，特别是在距离的测量上，常有大的误差，所以，当把测量到的数字绘在图上去求轨道的时候，点子在轨道周围的分布有着相当大的弥散。因此，要精确定出运行的轨道，需等待绕过轨道全周或至少大半周的时候进行。

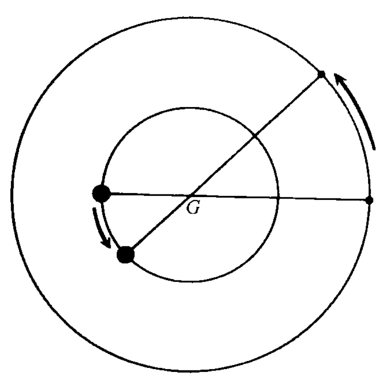



图606　运动中的主星

事实上主星并非是完全静止的，它也在运动(图606)。双星绕它们的公共重心各在一个轨道上运

动，力学的定律表明，这两个星的椭圆轨道长轴之比等于它们质量的反比。它们的相对轨道仍然还是一个椭圆，不过比每颗星绕公共重心所作的椭圆要大一些。

当然，这并不是说双星整体不会具有自行的移动。公共重心的运动是等速的，每颗星的运动便是这种等速运动和各自的轨道运动所合成的复杂运动。我们将要谈到的天狼星的运动，便是一个明显的例子。如果我们能够研究出双星相对于它们附近的星的运动，我们便可算出双星的质量之比，但是因为相对运动是最容易测量的，因此，我们就只讨论后一种情形。

伴星绕主星走一个椭圆的轨道，但是主星不在这个椭圆的焦点上，这与太阳恰在地球轨道焦点上的情况不同。但是，这并不奇怪。几何学原理告诉我们，椭圆的投影仍是椭圆，只是它们的焦点并不相对应而已(图 607)。从表面上看，双星的运动并不遵循开普勒第一定律，但是这种不符合的情况不是真的。我们可以计算出一个在空间中遵循开普勒定律的椭圆轨道。

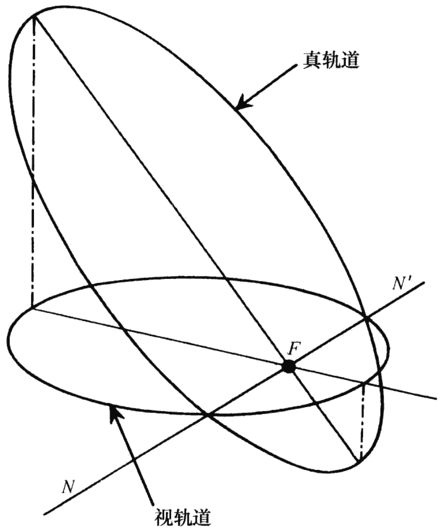



图 607　真轨道与视轨道的关系

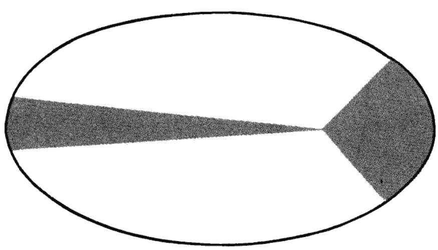


图 608　开普勒第二定律示意图

第二定律对于双星是有效的。这个定律表明，连接双星的直线所扫过的面积与时间成正比例。图 608 表明了这一情况：两个灰色区域的面积相等，而且是在等时间内所扫过的。如果我们把这个椭圆投影到天球上去，这个定律仍然是适用的，因为面积经投影后仍然维持相同的比例。力学原理向我们表明，如果两点之间有相对运动遵循面积定律，则在两点之间存在着一种引力或者斥力。这里，这种力是指引力，而且大小是和距离的平方成反比，因为只有这样的力才能说明运动是遵循开普勒第一定律的。因此，牛顿从太阳系里所发现的引力定律，是一个普遍的定律，可以有效地应用于恒星世界。但是，我们不要夸张以上对牛顿定律验证的精确性，因为代表观测的点分布得很弥散，观测也不够精确，所以对这一定律的验证，不能像对行星所要求的那样，即得到天文学平常所要求的高精确度。因此，这并不能使我们怀疑牛顿

万有引力定律的普遍性。我们有充分的信心应用开普勒第三定律去计算恒星的质量。如果我们以天文学上的单位去表示以下的数量，即以恒星年作时间单位，日地距作距离单位，太阳的质量作质量单位，于是，这定律将表示为：半长轴的立方与周期的平方之比，等于双星系的总质量。周期可据观测直接求得，半长轴的值需要加以计算。观测的对象只是投影的轨道，应该将这种轨道转移到空间里的真实轨道上去，这样，才可以求得半长轴。这样求得的数值只是一个角度，需要知道了星的距离后才能把它转换为长度。几何学原理说明，半长轴的弧秒数需要与视差的弧秒数相除，这样便求得半长轴的长度，单位是天文单位。

举一个例子来说明我们是怎样计算这个的。对于大熊 ξ 或 Σ 1523，半长轴是 2″.53，视差是 0″.120，以 2.53÷0.120 得 21.1 天文单位，这便是半长轴的长度。这颗星的周期是 59.8 年，应用第三定律，以 $21.1^3 \div 59.8^2$，即 9 394 ÷ 3 598，得2.6，此值就是这对双星的总质量，是以太阳的质量为单位的。下表中记载几对双星，它们的质量是以太阳的质量为单位来表示的。

**13 对视双星的轨道**

| ADS | 星名 | 星等和光谱型 | 周期(年) | 半长轴 | 偏心率 | 视差 | 总质量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3841 | 五车二<br>(御夫 α) | 0.89～10.4<br>G0 | 0.284 8 | 0″.053 6 | 0.008 6 | 0″.071 | 5.3 |
| 5423 | 天狼<br>(大犬 α) | −1.37～8.65<br>A0 A | 49.975 | 7″.623 | 0.575 4 | 0″.373 | 3.4 |
| 6175 | 北河二<br>(双子 α) | 1.96～2.89<br>A0 | 341.2 | 5″.601 | 0.392 3 | 0″.073 | 3.9 |
| 6251 | 南河三<br>(小犬 α) | 0.48～10.8<br>F5 | 40.23 | 4″.26 | 0.310 | 0″.291 | 1.9 |
| 8035 | 天枢<br>(大熊 α) | 2.02～4.96<br>K0 | 44.0 | 0″.634 | 0.23 | 0″.022 | 1.2 |
| 4956 | 库楼七<br>(半人马 γ) | 3.08～3.2<br>A0 | 84.5 | 0″.930 | 0.790 |  |  |
| 8630 | 东上相<br>(室女 γ) | 3.66～3.68<br>F0 F0 | 171.76 | 3″.648 | 0.877 | 0″.089 | 2.3 |
| 9617 | 贯索增三<br>(北冕 η) | 5.67～5.96<br>G0 | 41.56 | 0″.839 | 0.276 | 0″.067 | 1.1 |
| −60°5483 | 半人马 α | 0.33～1.70<br>G0 K5 | 80.089 | 17″.665 | 0.520 8 | 0″.760 | 2.0 |
| 10157 | 天纪二<br>(武仙 ζ) | 3.09～5.77<br>G0 | 34.385 | 1″.369 | 0.470 | 0″.110 | 1.6 |
| 10374 | 宋(天市)<br>(蛇夫 η) | 3.16～3.7<br>A2 | 80.0 | 1″.05 | 0.90 | 0″.049 | 1.5 |
| 11950 | 斗宿六<br>(人马 ζ) | 3.37～3.6<br>A2 | 20.80 | 0″.520 | 0.23 | 0″.022 | 3.0 |
| 12880 | 天津<br>(天鹅 δ) | 3.02～6.44<br>A0 | 321.0 | 2″.12 | 0.188 | 0″.019 | 1.4 |

太阳的质量可以表示为若干克，是由下面的一系列的比较而测定的：应用开普勒的第三定律于月亮，可以将太阳的质量和地球的质量加以比较，再由卡文迪什（Cavendish）有名的实验，将地球的质量和一块铅球的质量加以比较。在这个实验里，一个小球被一个大的铅球所吸引，小球向大球的位移度可用异常纤细的水晶丝的扭曲求得。由以上这一系列的比较作为媒介，双星的观测者可以将双星的质量表示为若干克。这些称量星球的人应当很有耐心，因为这样的称量既困难而且需要很长的时间，有时需要等待 50 或 100 年，天文学的研究是不能着急的。

计算星球的质量必须先求得双星的视差，这样便限制了我们对于星球质量的计算。现在知道质量的只有 150 颗，而且其中只有 1/3 是精准的，其余的 2/3 因视差求得不精确，便使得由视差推出的质量不可靠了。

在一般的情况下，我们只知道双星的总质量，但是如果我们知道双星绕公共重心的运动，我们就可以求得每一颗星的质量。现在我们知道它们的绝对轨道的双星只有 30 多对。对于其余的双星，因为下面将要谈到的原因，我们对于双星两个成员的质量的比例只有一个概念。了解星球质量对于认识宇宙是很重要的。自从人们发现和研究了另外一种双星，名叫分光双星以后，这方面的认识才得到很大的进步。

在求得双星的质量以后，天文学家可以用开普勒的公式去求双星的距离。由这个公式可以计算出为若干天文单位的半长轴，将这个量与视半长轴的弧秒数相除，最后便得出双星的距离。在此要说明，如果我们知道星的颜色或者光谱，我们就可以对星的质量有一个大略的估计。

我们举一个例子来说明这个计算。大熊 φ 是双星，编号是 OΣ208。丹戎于 1938 年测定了它的轨道，周期是 108.9 年。这一对星的光谱型都是 A2。我们知道，凡有这种光谱型的星，质量大约是太阳质量的 2.3 倍，因此，这对双星的总质量是 4.6。将此值乘以周期的平方，我们便得半长轴的立方，即为 54 600，于是求得半长轴为 37.9 天文单位。根据丹戎的计算，这基线在我们这里所夹的角度是 0″.324。因此，这对双星的视差是 0″.324÷37.9＝0″.008 5。这是一颗远星，它的视差根据直接测量是不可靠的。根据动力学的定律证明，以上所求得的视差数值，比直接测量而得的 0″.007，更为可靠一些。根据这些计算，大熊 φ 星的距离是 117 秒差距。

下面我们叙述几对特别有趣的双星。

## ◀ 半人马α星 ▶

这颗星不单是距离太阳最近的星，而且也是一颗很有趣的双星，它自 1752 年由拉卡伊观测以来，便成了一颗有名的双星（图 609）。

它是由两颗亮星所组成的。一颗是黄色的，视星等为 0.3，光谱型为 G0，很像我们的太阳；另外一颗是橙色的，大约比前一颗暗两倍，星等为 1.7，光谱型为 K5。1900 年，它们相距最远，约为 22″；这以后它们慢慢地接近，到了 1935 年，相距只有 4″；再以后又渐渐离开，到了 1950 年，相距是 10″；这距离到了 1956 年达到极短，只有 2″。这种迅速变化的情况可由以下的原因来说明。主要的原因是：第一，周期短，只有 80 年多一点（80.089 年）；第二，轨道对于天球的切平面的倾斜角大（约为 79°）；第三，椭圆轨道的偏心率大（$e$=0.52）。这颗双星的轨道测得很精确，半长轴测得的值是 17″.67。因为这颗星距离太阳最近，它的视差在 100 年前就已测得为 0″.760，因而距离是 1.32 秒差距。于是，依据开普勒第三定律人们容易算出这颗双星的总质量是 1.99。

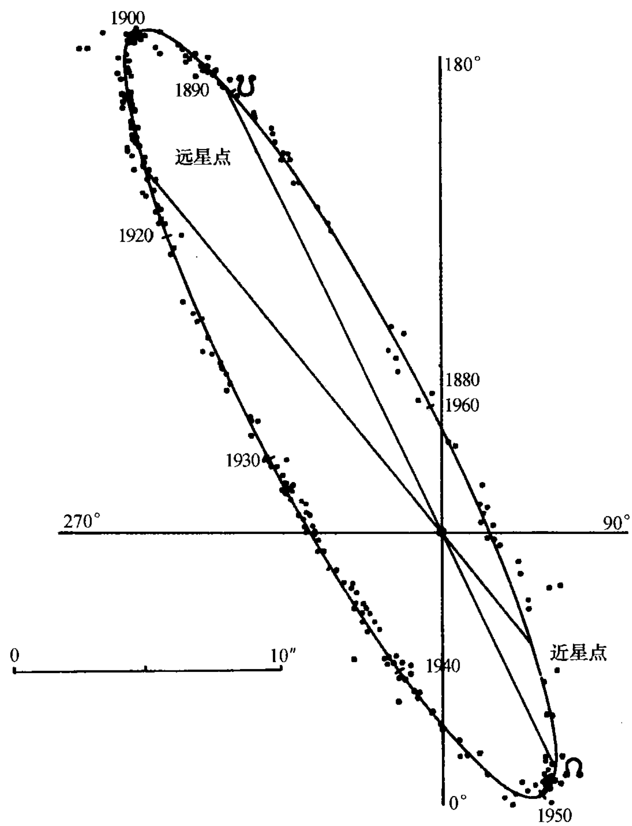



图 609　半人马 α　双星的轨道（根据芬森（Finsen）的推算）

博斯和奥尔登（Alden）研究了这两颗星对于它们附近的恒星的运动，于是定出它们的公共重心的位置。这两个成员的质量分别是：G0 型的一颗是 1.07，K5 型的另外一颗是 0.92，都是很正常的。1915 年，英尼斯（Innes）在距离这双星 2°13′处发现一颗星等是 11

的小伴星,于是人们对于这颗双星的兴趣高涨。这位天文学家研究了半人马α星附近的区域,由于这颗小星具有和半人马α相近的大自行而发现了它。以后的观测证明,这两颗星的确都有每年约为4″的自行和相同的视差0″.760。可见,半人马α是一个三联聚星系。小伴星是绕双星主体运转,可是周期很长,由开普勒第三定律所求得的数值是80万年。虽然周期这样长,可是在几年的观测里,可以发现这颗小星在轨道上的运动。这颗伴星(又叫做半人马近邻星)的星等和主星的星等有很大差别,如果它的星等值测得是正确的话,那么这颗伴星的质量应该很大。它的光谱型是M,很暗,绝对星等是15.4,属于矮星或亚矮星。这颗伴星还有两个奇特的现象。萨克雷(Thackeray)发现这颗星有几次骤然增加了亮度,所以半人马近邻星可以当做是一颗变星。在1925—1949年之间,经沙普利查得有52次爆发。萨克雷拍得这颗星的光谱确是M型,但是有时有氢和钠的发射谱线。

## ◀ 室女γ星Σ1671 ▶

这一对美丽的双星是由差不多相同的两颗星所组成的,星等是3.7,白色,光谱型F0(图610)。此星经人发现为双星已有200年的历史,自发现以后,它在轨道上的运行已经不止一周。它的周期是171.8年。轨道是很椭长的,偏心率等于0.88,因此两星之间的距离变化很大。

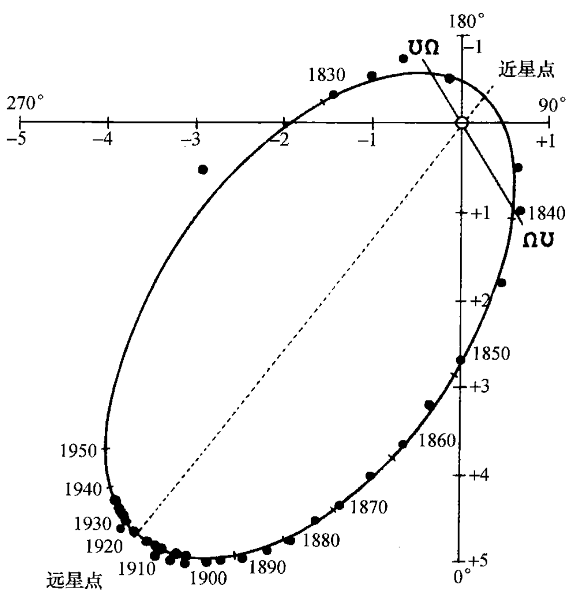



图610 室女γ 的轨道(根据斯特兰德的推算,尺度单位是弧秒)

这颗星距离我们是12秒差距,视半长轴是3″.67,相当于44个天文单位。两星间的距离由5.3变至83个天文单位。由开普勒第三定律求得,两星的质量各为太阳质量的1.4倍。

图610是斯特兰德(Strand)所计算得的轨道,包括到1938年为止的一切目视的和照相的观测。由图可见,在1950年两星之

间的距离是 5″.45，方位角是 312°.3。距离和方位角同时减少。近星点的距离大约相当于极小的视距离，要到 2006 年伴星才过那一点，那时主伴两星间的距离仅有 0″.3，只有大型望远镜才能把它们分开。

这颗星和别的许多亮双星一样，有两个暗的伴星。第一颗的星等是 14.5，距离为 53″；第二颗的星等是 11，显然亮些，可是距离主星远得多，在 125″之外。

## ◀ 天狼星(大犬 α) ▶

贝塞尔发现天狼星〔有兴趣的读者可参看斯马尔特所著的《几颗著名的星》一书，前开明书店，1953 年出版。——校者注〕的伴星是 19 世纪天文学上的一个大发现。1834 年贝塞尔察觉，天狼星的自行并不是一种等速的运动，它在众星之间以一种蜿蜒式的曲线运行。图 611 表示了这一现象的最近观测。贝塞尔给这现象以一个完满的解释。他说，天狼星是一颗双星，伴星虽然看不见，但是因为它产生引力从而使主星绕着公共重心走一个曲线的轨道，这表明了它的存在。

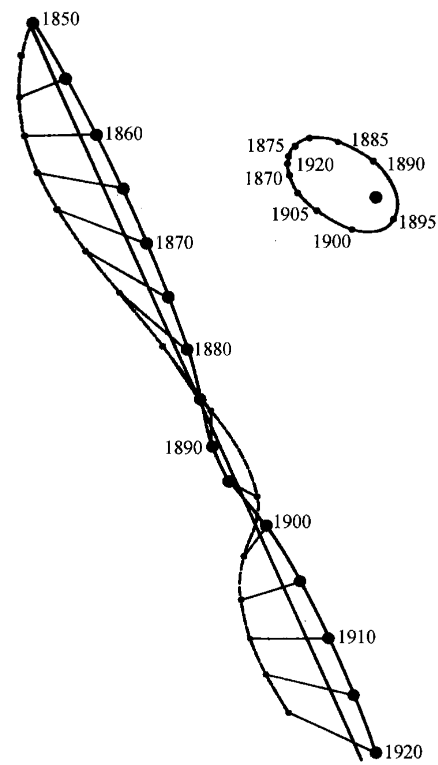



**图 611　天狼和它伴星的绝对运动**

这幅图表示天狼的弯曲路径。伴星的摆动更是显著，但是它们的重心却走一条直线。右上方的图是假设主星固定时，伴星的相对位置。

1862 年 1 月 31 日克拉克在试验他父亲新磨制的 46 厘米口径的折射望远镜时，果然发现了这颗伴星，距离主星是 10″.07，方位角是 84°.6，周期是 49.32 年。自克拉克发现这颗伴星以来，它已经在轨道上运行了两周以上。使用大望远镜，除了在近星点（过近星点发生于 1894 年、1943 年）附近，天狼 β 是容易观测到的。现在两星间的距离正在增长中，天狼 β 是可以看见的。

我们还要谈到这颗密度特别大的伴星，它是我们所发现的第一颗白矮星。

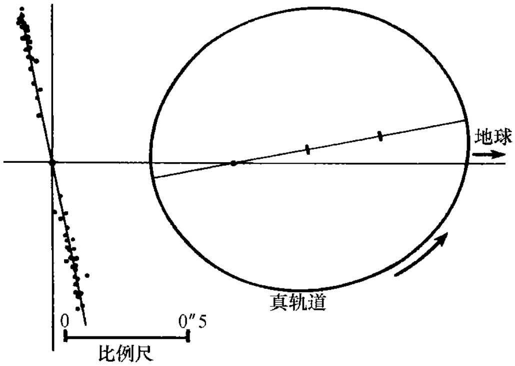



图 612　后发座 42 号的轨道〔根据西氏(See)的推算〕

我们再谈一个很奇特的视轨道，即后发座 42 号星或 Σ1728 的轨道，它恰好和我们的视线相合。这颗星好像是在离开主星 0″.6 距离的一直线上来回运动，周期是 25.87 年(图 612)。

最后我们再举一个例子来说明光学双星的视运动。比如 Σ2877，每颗星各自走一条互不相干的直线(图 613)。它们的接近是表面的，它们各自和太阳的距离是很不同的。我们所绘的图是 9 等伴星和 6 等主星的相对位置。这幅图显然说明了它们是一对光学双星。可是对于有些情形，因观测不够精确，很难将光学双星和物理双星区分开。

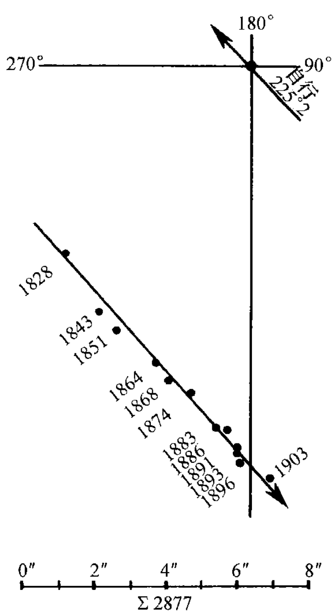



图 613　一对光学双星 Σ 2877

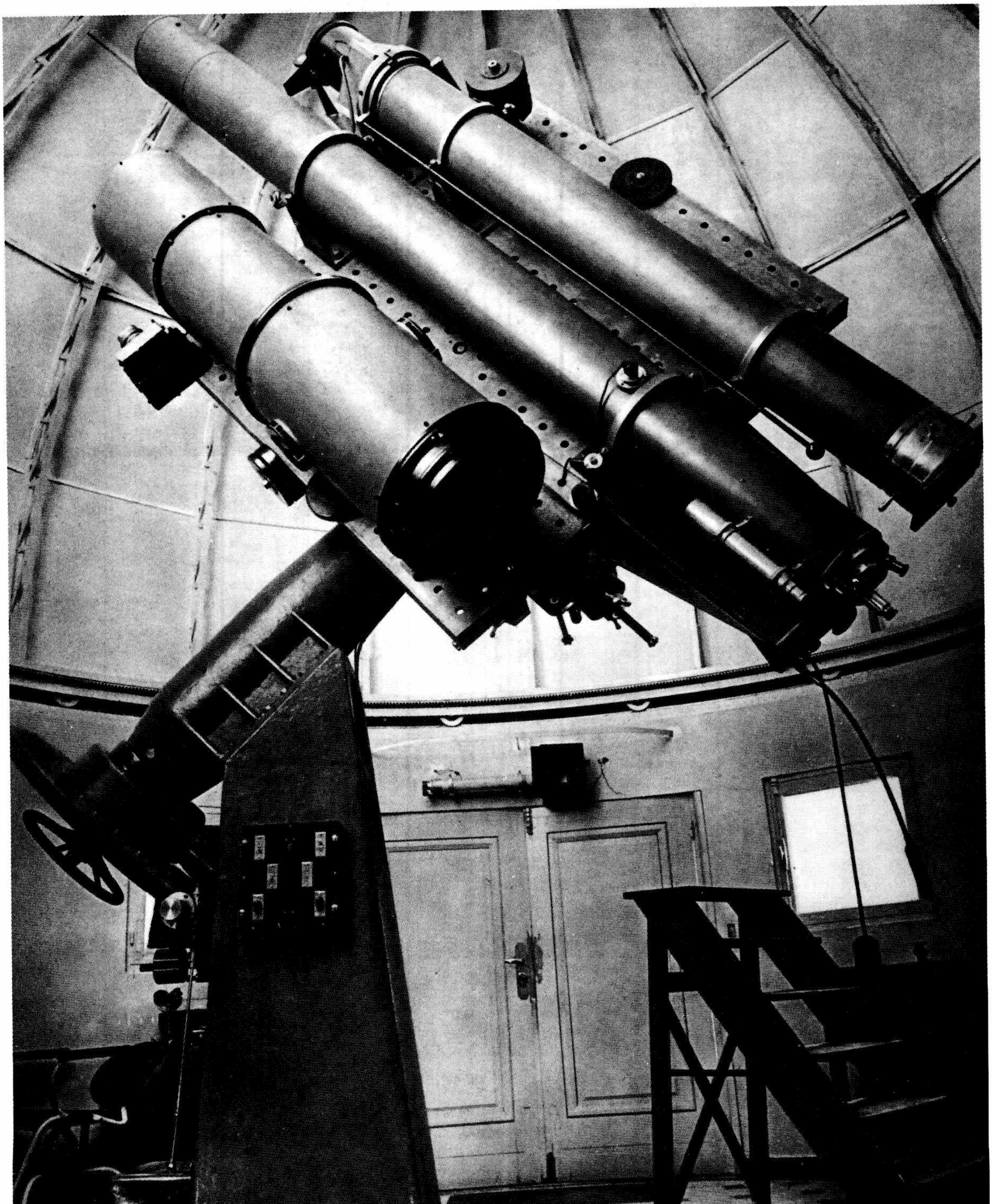


图 614　法国南方天文学台的赤道台
中间是导星镜，下面是施密特望远镜，上面是物端棱镜。

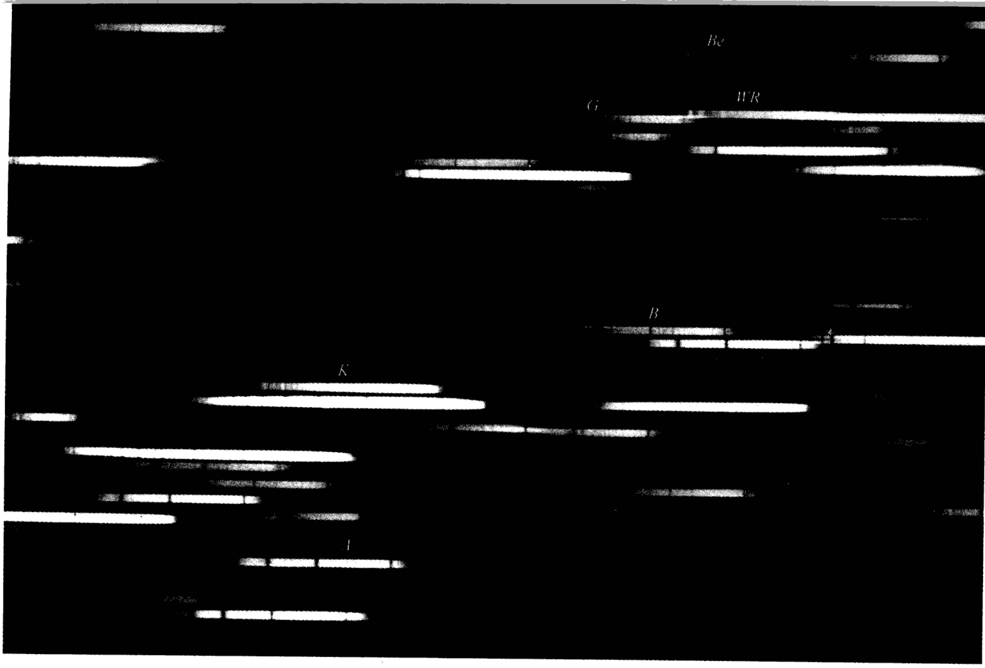


**图 615　物端棱镜所拍摄的天鹅星区**

这是原照片一部分的放大图。其中几颗星的光谱型，用字母标出。有一颗星的光谱有很强的发射明线，那是沃尔夫-拉叶星。

# 第四十五章

# 星的光谱

我们在研究太阳的时候，曾经谈到过摄谱仪。摄谱仪在太阳物理上所取得的巨大成就，可以进一步推广到恒星上去。

在原则上说来，恒星光谱学和它的仪器应该与太阳光谱学并无区别，但是实际上所用的技术却有很大的差异，这理由是容易使人理解的，因为即使是最亮的恒星——天狼星——给我们的光亮也只有太阳光亮的一百亿分之一。

恒星光谱学所常遇到的困难就是光亮太少。为了弥补这一缺陷，天文学家使用了近代的一切新技术。人们把摄谱仪放在愈来愈大的望远镜后面，为了要聚合大量的光线，所以他们才把望远镜造得愈来愈大。人们期待着帕洛马山 5 米口径的望远镜将取得重要的成果，即在光谱学方面的成果。当然，在这些仪器中应该尽量避免光线的损失。近年来的

各种改进，如用铝作反光面，制成了精密的光学玻璃，涂上避免反光的药膜以及新式光栅的发明等等，都使人们得以研究极暗的恒星。摄谱仪的物镜有了新的结构，受光部分亦经改进，为天文学家制造的特种照相底片，可以取得在长时间露光里聚集光线的效果。为了揭开星球的秘密，天文学家常将一张底片继续露光几夜，而 25～50 小时的露光是常有的事。

光电管现已被采用在光谱学的研究上，人们可以预料，这将获得新的成效。恒星光谱学今天究竟进展到怎样的程度呢？

我们现在已经能够拍摄到暗至 16 等星的光谱，即是比天狼星暗 1 000 万倍的星的光谱。但是这些光谱很短，短到只有 2.5 毫米，在那上面我们只看得出最显著的特点。对于亮星，我们可以拍摄到几米长的光谱，在那上面我们可以做类似于太阳光谱的测量和研究。

我们曾经谈过摄谱仪。在此，我们还要重述一下，因为光谱的研究实际上引起了天文学的革命，所以我们反复地加以阐说，想来读者是能谅解的。

当一线白光，或者宁肯说是一小束平行的白光，射到一个棱镜上时，这束光就向棱镜的底边偏转，我们就可以看出，这束白光分解为紫、蓝、青、绿、黄、橙、红等各种颜色的光（图 616）。

紫色偏转最大，红色最小。太阳光经过云块内水滴的折射所造成的彩虹，便具有这些颜色。

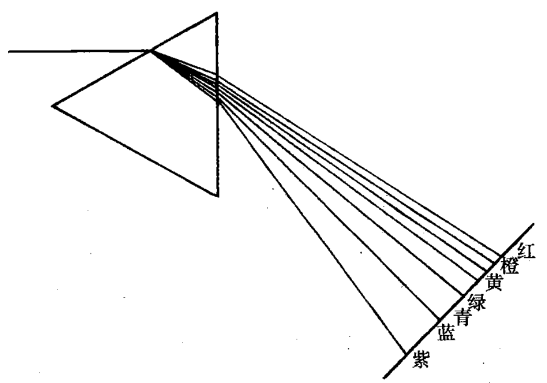


图 616　射到棱镜上的白光被分解为各种颜色的光

现今的分光仪器仍然是重复使用开普勒和牛顿的古老的分光实验中的仪器，不过在技术上大有改进罢了。摄谱仪的主要部分是：一个放在准直管透镜的焦点上的光缝，一个分光的棱镜以及一个将分解后的光（即光谱）固定在感光片上的照相镜。

在实验室里做以下的一个实验，便可以使我们明了这种仪器的功用。将食盐撒在气体的火焰上，或者用电流通过含金属钠的空管，产生黄色的钠光，再将这黄色光照射在光缝上（图 617）。

这一束从光缝出来的散射光，透过准直管的物镜，变为平行光。然后，平行光通过棱

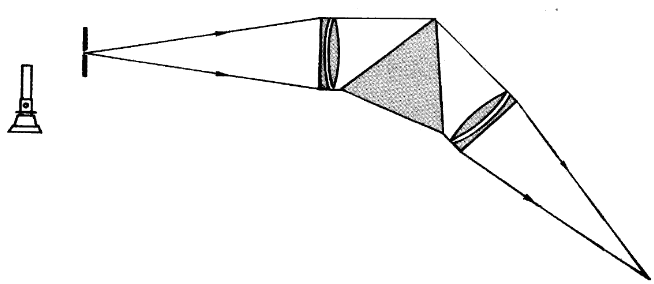


图 617 黄色钠光的光谱

镜，受到大约 45°的偏转。如果棱镜优良，这束光从棱镜出来后仍然是平行的，我们可以用放大镜去看或用照相机去拍摄这个光谱，即是将光缝的像放在眼睛的网膜上或照相机的底片上。这确是光缝的像，因为光缝上细微的缺点，如灰尘或者缺陷，都会表现在底片上。

在这个实验里，我们在这个小仪器上只看见一条这样形成的像，或者说，这样形成的一条谱线。我们说，钠的黄色光是单色的。事实上，它是两条很接近的辐射所构成的，这两条线便是钠元素的特征谱线(图 618)。

这是物理学上一个最成功的实验。关于它的重要性，我们要在下面详谈一下。

照亮光缝的光可以有无穷多种。我们可以不用钠焰，而用汞的弧光照亮光缝，那么我们便会看见，在紫、蓝和绿三色里各有一条谱线出现，在黄色里出现两条。这两条比钠的两条分开得更大，而且也不在相同的位置上。

铁的弧光表现出几千条谱线，特别是在蓝、紫两色区里(图 618)。

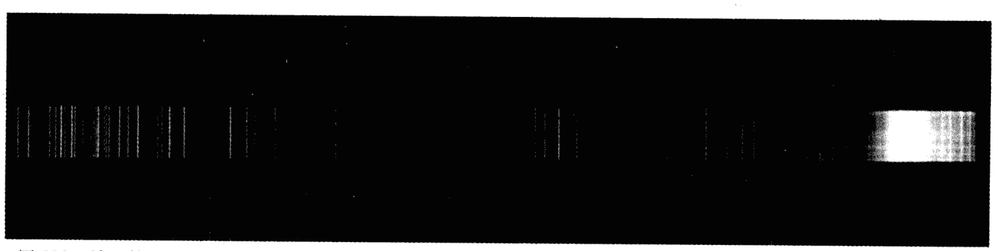


图 618 钠、铁、汞三元素的光谱。紫色在左，红色在右。上边钠有两条细线在红色区，中间是铁弧火焰的光谱，自紫端至红端有很多条谱线。在黄色区有一些谱带和铁的光谱重合，那是从空气而来的。下边是汞的光谱，有紫线一条、绿线一条、黄线两条

一切物体被火焰或电流激发，都会发射出一些谱线，这些谱线的位置是绝对固定的，它们表现了发出这些谱线的元素的特征。没有任何实验能否定这个位置固定的特性。

在火焰里或在通电管内，每颗原子的作用像一架无线电发射机，这不是一个比如，而是物理上的一个事实。钠原子是一个射电发射站，正如巴黎的无线电台一般。这电台的频率是 107 万周。它的天线发射出一种变化的电磁场，频率每秒有 107 万个振荡。无线电学家曾努力使这频率固定不变，自从有了压电水晶的发现，它使频率得以稳定，才解决

了射电上的一个重要难题。

我们常用波长而不用频率来表示无线电台所发射的电磁波的特性。这两个量之间的关系是简单的。所有的电磁波在真空里传播的速度相同，即等于光的速度，每秒为299 776 千米。波长即是连续发出的波的两个振荡中间所隔的距离。因此，波长的求得是以频率除光的速度。巴黎电台的波长是 280 米。

钠原子所构成的小射电站，在效果上和无线电台没有两样，只是频率的高低和波长的长短不同罢了。光线的频率比无线电的平均频率高得多，大约要高 10 亿倍，波长不用几百米计，而用微米的分数计，一微米就是 1/1 000 毫米。

一个无线电站只发出一个频率，一个原子通常发出很多频率。例如，钠有两条明亮谱线，铁、钛等元素有几千条之多。

我们可以把某些单色辐射的波长和标准米尺加以比较。例如，镉的红色谱线波长是0.643 847 微米。一方面是由于这条谱线波长的恒定性，另一方面是因为对测量的要求高度精确，于是，比较之下，标准米尺的测量就显得不够精确。因此，物理学家建议，应该以镉的这条红色谱线的波长作为长度的标准。这个实验曾在巴黎标准米尺储藏处最初由麦克逊而后由法布里和比松(Buisson)做过，这是 20 世纪初物理学上的重要成就。物理学家将许多别的元素的谱线的波长加以测定。重要谱线的波长被列成表格，次要的谱线的波长则散见于一些书内。下面给出氢原子谱线的波长及其常用的名称。

下表登载氢原子的几条重要谱线。

| 名称 | 波长(埃) | 波数 | 分数式 |
|---|---|---|---|
| $H_\alpha$ | 6 564.60 | 15 233 | $\frac{1}{4}-\frac{1}{9}=\frac{5}{36}$ |
| $H_\beta$ | 4 862.69 | 20 565 | $\frac{1}{4}-\frac{1}{16}=\frac{3}{16}$ |
| $H_\gamma$ | 4 341.69 | 23 032 | $\frac{1}{4}-\frac{1}{25}=\frac{21}{100}$ |
| $H_\delta$ | 4 102.91 | 24 373 | $\frac{1}{4}-\frac{1}{36}=\frac{2}{9}$ |
| | 等 | | |
| 系限 | 3 647.02 | 27 420 | $\frac{1}{4}$ |

表中波长是归算到真空中的数字，单位为埃。埃是微米的万分之一，而微米又是毫米的千分之一。波数是以波长除 $10^8$ 而求得的。

巴耳末(Balmer)首先分析了这个光谱。他证明,各条谱线波长的倒数,即1厘米内所有的波数,是和表中所列的简单分数式成比例的。这些分数式是从1/2的平方,即1/4里顺次减去1/3,1/4,1/5等的平方。根据这个定律,谱线当是愈来愈密,到了波数等于27 420时,便是巴耳末系的极限。由于玻尔(Bohr)和普朗克的工作,使这惊人的发现——巴耳末定律——得到了物理学上的解释。

我们很简略地叙述一下关于氢原子的这种解释。氢原子具有一个带正电荷(+1)的核,核周围有一个带负电荷(-1)的电子。这两个质点按照引力与距离平方成反比的定律彼此吸引,因而它们的运动是遵循开普勒定律的。在太阳系里,我们可以假想一切轨道都是可能的,可是在氢原子里,只有几个轨道才是可能的(图619)。这些可能的轨道与某一些能量相对应。根据计算,这些能量彼此间的比例正如连续整数的平方倒数之比:1,1/4,1/9,1/16,…,$1/n^2$。

要把最靠近氢原子核的轨道上的电子拉出,应当供给它能量,假设此能量是1,那么,第2轨道上的电子被拉出所需的能量便是1/4,依次便是1/9,1/16,…巴耳末谱线是与从第2能级(能量是1/4)起的一切可能的跃迁相对应的。因此,所释放的能量如表中所列的分数式那样。爱因斯坦进一步证明,这些能量将表现在发射线或吸收线里,其频率与能量成正比,这样便说明了巴耳末根据经验而得的定律。

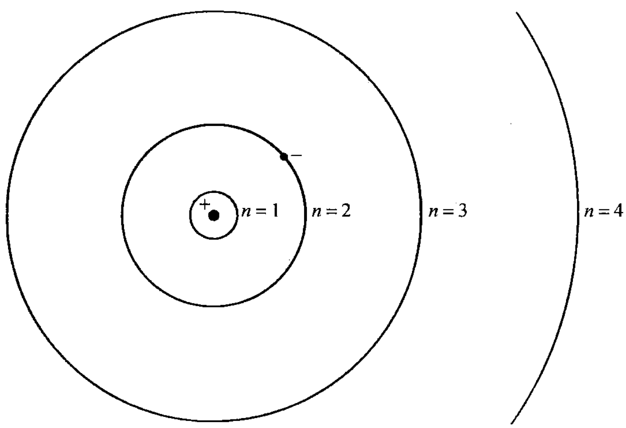



图619 围绕氢核(质子)运行的电子可能有的四个圆周轨道。最近核的轨道($n=1$)相当于稳定的情形。图中电子在第二轨道($n=2$)上面,要把它从这轨道拉出去,必须供给能量。例如使它到轨道3,所需的能量恰等于红色谱线$H_\alpha$的能量;由2至4轨道,相当于$H_\beta$谱线的能量等

对于结构更复杂的别的元素,计算异常繁重,难于得出结果。可是,在普朗克量子论原则的基础上发展起来的德布罗意(de Broglie)的波动力学,却可应用于这些复杂的结构。

现在我们再回到实验室来做实验。用一盏白炽灯的光照着光缝,我们便可得到一个没有明线的连续光谱。在这盏灯所发出的灯光里有着从紫色至红色的一切辐射。一切白炽的物体都会发出这样的连续光谱,物体愈热,短波辐射(紫和蓝)就愈加丰富。这样的发射也可由量子理论得到解释。

再谈一谈我们要说的第三个实验，这是1859年基尔霍夫所做的有名实验，它使我们了解恒星光谱的形成。在前面所说的实验里，在从白炽灯而来的白光中间，放上一个撒有食盐的黄色气体火焰，当然，在这火焰里含有钠的原子(图620)。我们可以看见，在原来那两条钠的明线的位置处，却显现出两条黑线在明亮背景上。我们把明线叫做发射线，黑线叫做吸收线(图621)。

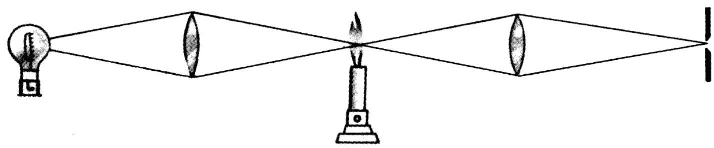


图620　基尔霍夫的实验

这种现象的解释是这样的：火焰里的钠原子不但能发射，而且能吸收相同的辐射，随灯或火焰两者之间温度的差别而显现出明线或暗线。我们已经说过，钠的吸收线存在于太阳光谱里其他的黑线之中。

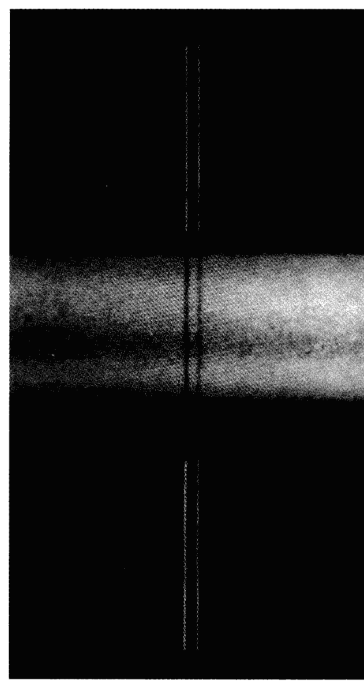


图621　基尔霍夫的实验
上下两图都是直接观测得的钠元素的谱线，中图是白炽灯光透过含钠元素的火焰光谱。

我们对于光谱学得到了上述这些概念以后，便可以进一步了解它们在天文学上的应用。

天文摄谱仪是由物理摄谱仪改装而成的。这种仪器装置在大望远镜后面，如图622、623所表示的那样。而且，我们把它校准到刚好使星象形成在光缝上面。在光缝前再放上两个小的遮蔽装置，只使星光照亮光缝的中部，两旁的部分另用比较光源照明。因天文摄谱仪需随望远镜而运动，它将会受到不同程度的弯曲，所以摄谱仪的构造需加以特别的设计。这种仪器还需放在一个恒温箱内。为了简化天文摄谱仪的构造，我们还可以在望远镜南端柱头的延长线上建造一间实验室。利用一套反光镜，可以使光线穿过望远镜的轴，汇聚到肘形装置的焦点上。这样装置的摄谱仪是固定的，既可以避免弯曲，又可以得到好的恒温环境。在露光时间里，天文工作者应仔细校准望远镜的运动，把星象严格地维持在光缝上面。另外，在露光时间里，我们时常将光缝的上下两端照明，以便同时拍摄地上的比较光谱。

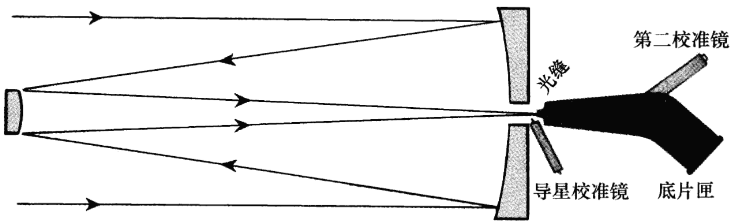



图 622 装置在卡塞格林式望远镜焦点上的摄谱仪。星象在光缝上形成，用导星镜把像维持在光缝上。摄谱仪稳固地装置在望远镜上面，犹如实验室里的摄谱仪一样

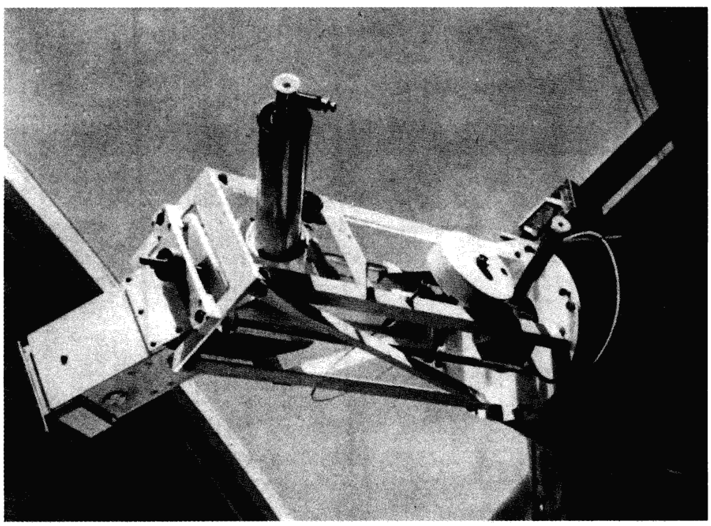


图 623 小型摄谱仪。装在 120 厘米的牛顿式望远镜的焦点上。这个摄谱仪可以照得很好的光谱，可以研究 11 等星。本书内一些光谱就是用种这仪器拍得的

棱镜不是唯一的散光仪器，另外还有光栅。与棱镜相比，光栅虽有许多优点，但因由光栅而来的光微弱，使它一直不能用于恒星天文学的研究上。但是，一种特殊的构造完全改变了这种情况。在天文学的研究上，光栅有取代棱镜地位的趋势。

光栅是一种高度精密的仪器，需要有高超的技术才能制成。试举构造上的几点要求，以使读者大致了解这个问题。光栅是由玻璃上(或者玻璃面上镀铝)用金刚钻刻的很多根平行的条纹所制成的。困难在于，所需要的条纹的数目之多和刻画所要求的精确度之高，一个好的光栅在一毫米内有 400～900 条线。每条线有 10～15 厘米长，而且是刻在宽 10～20 厘米的面上。总共的线数常在 10 万以上。刻画上稍微有一点点差错或不合规格，便使光谱不能作精密的观测。最早的大型光栅是 1880 年由罗兰(Rowland)所刻成的。

如果我们用单色光照射在这样的光栅上，我们就可以发现，反射光栅能使入射线分解成许多条光线，如图 624 所表现的那样。不管光的波长怎样，中央光线的方向没有变化，

可是对于其他的光线，波愈长，光线离开中心线的偏向则愈大。经过这样反射后的每条光线，我们特别把它们叫做**衍射的**光线，它们形成一个光谱。但是很遗憾，因光线分布在中心线及各级光谱之中，所以每一级光谱里的光亮微弱。以前的光栅，中心线就占入射光线的 80%，所以光栅所形成的最亮的光谱，仅占入射光线的百分之几。

美国和瑞典的实验室已经做到使光的分布情况完全改变。使用特别磨成的金刚钻所刻成的条纹的轮廓有着一定的形态，于是使得由这样的光栅衍射出来的最亮的一级光谱具有入射光的 70%，而中心像和别的光谱都很暗淡(图 624)。

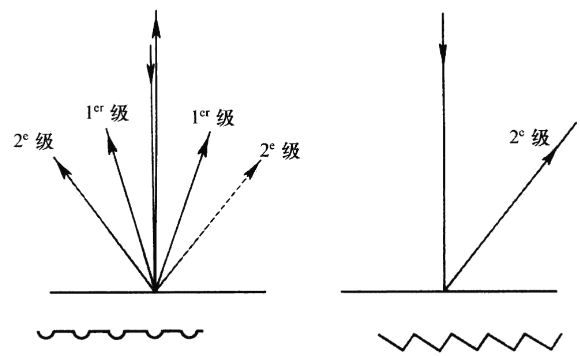



图 624　光栅衍射出来的光谱

使用这样类型的光栅所制成的摄谱仪比棱镜摄谱仪还要明亮，同时它还具有别的优点。对于棱镜摄谱仪，光谱的红色区异常短窄，这是由于玻璃和别的物质对于这种辐射(红色辐射)色散度小而造成的。但是光栅摄谱仪就弥补了这一缺点，而且好的光栅可以研究到紫外和红外两个区域，那是棱镜所办不到的。

在叙述光谱学在天文上的应用以前，让我们再叙述一种在某些工作上特别有用的摄谱仪，叫做**物端棱镜摄谱仪**(图 625)。因为星光是平行光束，所以摄谱仪并不一定需要准直管，于是我们可以直接将棱镜放在物镜前去拍摄星象。因为星光经过棱镜后已被发解，因此，我们便如图 625 那样，在底片上可以拍得一条光谱。当然，附近的每一颗星都留下一条光谱。为了使这些光谱容易被人识别，我们采用使仪器略微摆动或者使底片和色散的方向正交的方法，把这些光谱放大(图 625)。

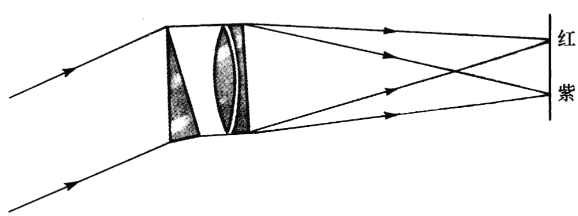



图 625　物端棱镜摄谱仪示意图

物端棱镜是一种使光线损失很少的仪器。取消了光缝和准直管，便减少了光的损失。使用 20 厘米口径的物端棱镜可以拍得的暗星和使用有缝摄谱仪装在 80 厘米口径的望远镜上所拍得的一样。可是，物端棱镜在这一切的优点上不幸有一个很大的缺点，就是不能

使拍得的光谱和一个比较光谱重合，因而无法得到校订的标准。

## ◀ 恒星光谱的解释 ▶

用物端棱镜或大望远镜所拍得的恒星光谱，在表面上看来好像很有差别，但在事实上，我们很容易把恒星的光谱分成几个类型。

试考察一个恒星的光谱，例如天津四(天鹅 α)的光谱(图 626 正像)。在照相底片上黑色的部分，叫做连续背景的，是由天津四所发出的光形成的。这背景上有若干条透明的线，这是表示没有光的地方——吸收线。我们利用铁的谱线形成的标准光谱，根据精密的测量，可以计算出这些吸收线的波长。这些测量的结果是很简单的。另外有一群模糊、看上去似很紧密的线，这便是巴耳末研究过的氢的谱线，那里我们可以找到 $H_\alpha$、$H_\beta$ 等谱线。在这两条强线附近，还有两条很细微、很清晰的谱线，它们差不多和氢的谱线混合在一起，波长是 3 933 埃和 3 968 埃，容易被人确认为钙的谱线。若将电火花放射在含钙的大气里，便会发出这样的谱线。这是失掉一个负电子的钙原子发出的谱线，它是带正电荷的，它的符号是 $Ca^+$。

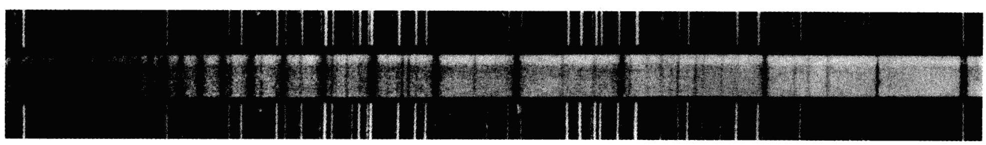


图 626　天鹅 α 星的光谱(紫色区)。恒星的光谱是中间的一带，白色背景上分布着一些黑线。两旁的明线光谱是铁弧光谱。愈向左端愈密集的许多条黑线是氢的谱线。最右端双线中的一条和第二条谱线是钙的谱线。其他谱线大多数是铁的，有一些是电离钛的

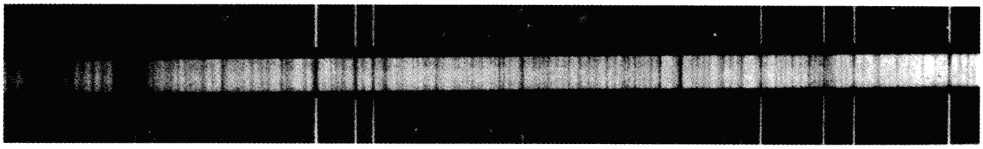


图 627　双子 β 星的光谱(蓝色区)。这颗星比天鹅 α 要冷一些。这样就使金属谱线的强度增加。左端两条强的吸收线是钙线，在天鹅 α 里很弱。注意在实验室里所拍得的铁线和恒星光谱的吸收线在一条延长线上，这样说明双子 β 星的大气里有铁光谱的分类

在很好的光谱上，我们还可看见细微得多的谱线，并且可以说明，它们是和钛与铁的原子有关联的。但是这些谱线在色散度不够大的光谱里就看不见。我们将怎样解释这样的光谱呢？星的连续光谱使我们立刻联想到钨丝或白炽的炉子内部所发的连续光谱，并且我们可用数量来说明这个类比，来测量这炉内的温度。炉内的发射光谱和天津四的连续光谱是相同的，这温度高达 11 000℃。如果实验室里能够达到这样的温度，那么，这炉

子的内部将会像天津四那样，发出淡蓝色的光。很久以来，人们便假设星球内部有一层物质，它像炉子内部那样，发出辐射，物理学家把这炉子的内部叫做黑体。星球内发出连续辐射的一层叫做光球，周围包着比较稀薄的大气，叫做色球，在色球内有发生吸收作用的各种原子。我们可以将光球比拟做基尔霍夫实验里的白炽灯，色球比拟做含钠的黄色气体火焰。现在我们知道，这样的比拟需要修改。星球的内外层之间并无不连续之处，星球的物质从外部密度几乎为零的形态，变到中心几十亿大气压的异常紧密的形态。与此同时，温度由外向内逐渐增高，到中心可达数百万摄氏度。可见星球内到处都发出辐射，到处也在吸收辐射，以致形成一种平衡。我们可以证明，星球中心所发出的辐射，因星球物质的不透明性，不能传到外壳来。星球所发出的光基本上来自表层，99%的能量都从厚度为半径的 1/1 000 的表面层而来。这一层可以比拟做光球，它的外面才是色球。

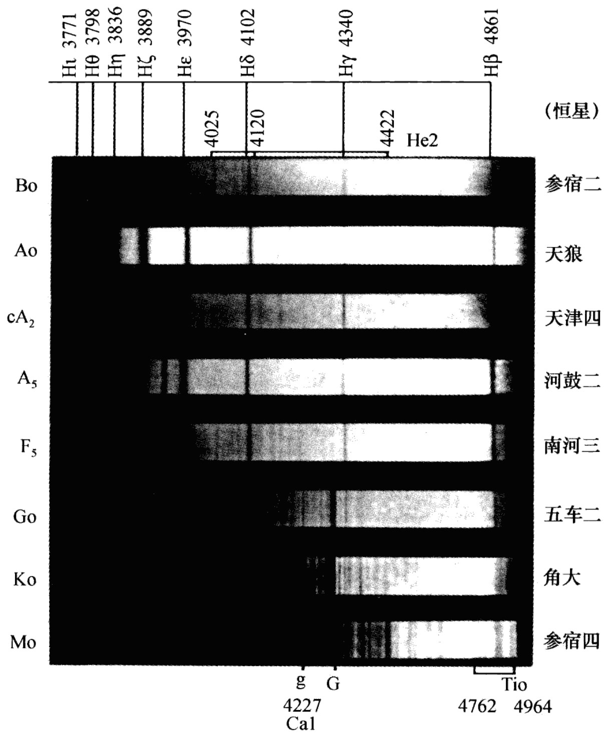



**图 628　公认的光谱分型法**

我们说过氢的谱线在由 O 至 F5 型的星内部很显著，随后才慢慢消逝。O 与 B 两型星有氦的谱线。注意自上而下电离钙的谱线 K 与 H 逐渐加强。这两条谱线在冷星不显著，那是因为冷星发出的紫外线不够多。光谱向蓝端加强，而且出现许多谱线，这是冷星的特征。在 M0 型星里有氧化钛 TiO 的带状光谱出现。

大多数恒星的光谱与天津四的光谱相像，只是每个光谱的吸收线有多寡的不同罢了。图 628 表示现今常用的恒星光谱的分类。这种分类的方法先经塞奇(Secchi)和洛基尔(Lockyer)试行，再经皮克林和弗莱明(Fleming)用物端棱镜法加以改进和奠定基础，最后终于在哈佛大学的天文工作者的手中完成了。这项工作成果发表在有名的亨利·德雷伯星表(简称 HD 星表)之中，计有 22.5 万颗亮于 9 等星的光谱型。哈佛分类法已经被大家采用，这种分类的根据是温度。早型星较热，晚型星较冷。将星球和已知温度的炉子比较，从而测定星的温度，在法国有夏龙日(Chalonge)和他的学生做过这样的研究。

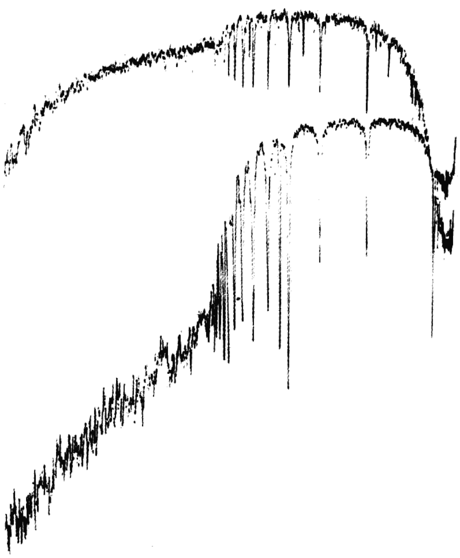


**图 629　英仙 α（下）和仙王 ε（上）光谱的描迹**

光谱从远的紫外区（左）至红色区（右）。从右边开始，描迹图上有一条锯齿线，这相当于底片上的一条黑线；底片上愈黑的线锯齿愈尖锐，这些代表吸收谱线。重要的吸收谱线属于氢元素，这些谱线在图的中部特别密集，因为到了巴耳末系的结束处。极左端的锯齿代表大气里臭氧的吸收。

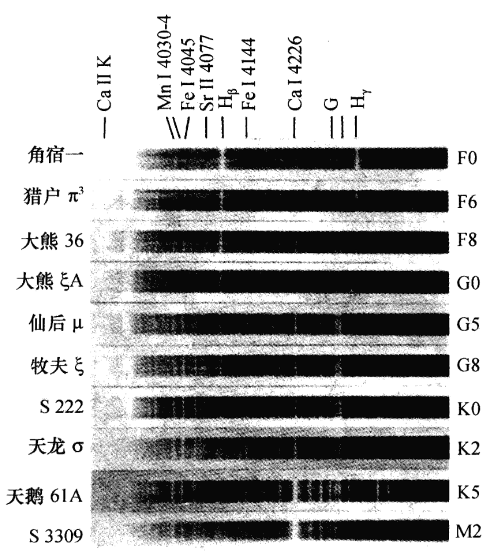



**图 630　主星序里由 F0 至 M 型的星。首先金属谱线的数目增加得特别多。氢的谱线 $H_\beta$ 与 $H_\gamma$ 逐渐变弱。CH 分子的谱带 G 由 F0 至 G8 逐渐增强，以后又逐渐变弱。中性钙的谱线 4226 逐渐增强（负像）**

夏龙日的测量所根据的原则是容易被人理解的。在同一张照相底片上拍上所要研究的恒星的光谱和已知温度的地上热源的光谱，我们设法使这两个光谱在蓝色区有一样的黑化度。如果地上的热源和星有着一样高的温度，那么在红色区它们的光谱还是一样的黑。但一般的情况不是这样，如果星比热源冷些，星就有着更多的红色的光，与它相应的那部分的光谱也就会黑一些。

我们不难了解由这种比较的方法可以测定星的温度。实验的结果可用一种图解法表示，星和热源的温度差可表示为一条倾斜的直线，这条线的斜度便代表着所要寻求的温度差。

我们还要说明，这样建立温度的标尺是经光谱线的吸收理论所证明的（图 628、630）。

**O 型**　温度为 3 万摄氏度。这是很热的星，有着特别多的电离氦和高度电离的金属谱线。代表星是猎户 λ。

**B 型**　温度为 2 万摄氏度。仍是热星，有着中性氦、电离金属和氢的谱线。代表星是猎户 ε（参宿二）。

**A 型**　温度为 1 万摄氏度。相当热的星，有着氢和电离钙的谱线。代表星是天琴 α（织女）。

**F 型**　温度为 0.75 万摄氏度。仍有很强的氢谱线，电离钙的谱线达到极大的强度，出现了电离的铁和钛的很强的谱线。代表星是英仙 α（天船三）。

**G 型**　温度为 0.56 万摄氏度。这是中性金属(铁和钛)和中性钙的星，氢和电离钙的谱线仍然可以看见，出现了一些分子(如 CH、$C_2$)的光带。代表星是太阳和双子 ε(井宿五)。

**K 型**　温度为 0.4 万摄氏度。K 型和 G 型有相同的特征，只是分子光带加强，并且出现了氧化钛(TiO)的谱带。代表星是金牛 α(毕宿五)。

**M 型**　温度为 0.3 万摄氏度。这是具有氧化钛的冷星，虽然有铁、钙和中性钛的谱线，但是这些红色的特征当是它们极强的谱带。代表星是天蝎 α(心宿二)。

以上的分类法可将大多数星都归纳进去，但还有极少数的具有强谱带的红星，还需分为平行的两类。

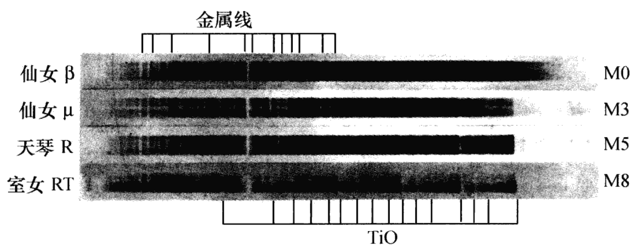



图 631　**几颗 M 型超巨星的光谱(负像)**
氧化钛(TiO)的带状光谱逐渐加强，这是 M 型星的显著特征。

R 和 N 两种类型代表含碳的星，不久后可能归并成同一种类型 C。这些星是冷星，温度和 K 与 M 两种类型的星相类似，但是和后者不同之处是，在它们的光谱中有 $C_2$ 和 CN 的分子谱带(图 632)。虽然经过仔细的搜寻，但这两种类型的星被我们找着的只有 1 000，代表星是天兔 R。

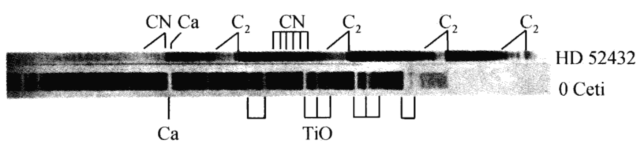



图 632　**两颗冷星：HD 52 432(碳气星)与鲸鱼 O 星(氧化钛星)。注意两个光谱(负像)里谱带的结构大不相同：前一星具有含碳的分子 $C_2$ 与 CN，后一星有氧化钛的分子**

别的更少的冷星则列为一类特殊的 S 型。在它们的光谱里有相当强的氧化锆的谱线，有时有氧化钛的谱线。我们只发现有 50 多颗这一类型星。代表是双子 R。

M、N 和 S 三型的冷星，其中有许多的星光亮度是有变化的，关于这些我们以后还要谈到。

这种光谱的分类不是迥然不同的，而是彼此连续的，因此可以将每一型更细分为十个分型。例如，A 型便包括有 A0、A1、A2 等直至 A9 十个分型。其次便是 F0。这样，A9 型和 F0 型的两颗星区别很少，比 A0 和 A5 两分型之间的差异还少得多。

有时再在这些符号旁边加上小字母以表示光谱的特性。如果光谱在连续的背景上有明亮的发射线，我们便加上 e 字母；如果有别的特性，便加上 p 字母。

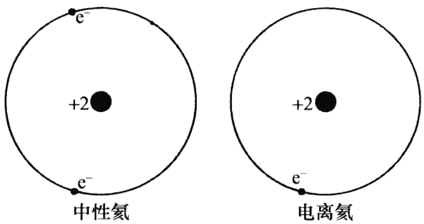



图 633 中性氦和电离

以后我们还要说明，星按它们的直径分为三大类，这是从它们光谱的特性来断定的。谱型符号前面冠上 d 字母的表示矮星，g 字母的表示巨星，c 字母的表示超巨星。

在我们说过按温度进行光谱分类后，我们现在解说一下，温度的变化怎样影响光谱的变化。试用氦原子的谱线作为例子来研究一下。氦原子有一个质量为 4、电荷为＋2 的核，围着这个核有两个负电子在轨道上运行。如果氦原子确实是具有这样完备的结构，那么，正负电荷彼此抵消，原子是中性的。中性氦原子是几条吸收谱线（例如在 4 260 埃和 4 009 埃的两条）的来源，但只有受了激发的中性氦原子才吸收这些谱线。我们有各种方法使原子得到激发。例如，和别的原子进行碰撞就是方法之一。这样的碰撞必须是相当地猛烈，因此温度必须超过大约 1.2 万摄氏度的临界值。不达到这个温度的中性氦原子是不受激发，也不吸收辐射的。因此，这就说明比 A0 冷的星的光谱里没有氦的谱线，唯有 B 型星里才有这些谱线。

如果温度再高，中性氦原子就失掉一个电子，变成电离，具有电荷＋1。这样电离了的原子和中性氦的原子，无论是发射光谱或吸收光谱都大不相同，可是和只有一个电子的中性氢的光谱倒有些相似。电离氢原子谱线的波长是 4 686 埃和 4 200 埃。

形成这样电离所需温度的数量级是两万摄氏度。比 B 型星更热的是 O 型星，在它的光谱中出现了电离氦 $He^{+}$ 的光谱。如果温度再增高，氦原子再度电离，可是 $He^{++}$ 的光谱是观测不到的，因为发射光谱的成因在于电子，氦经过两度电离，失掉所有的电子，便不能再发射光谱线了。

我们可以把这个理解推广到星球大气里的一切原子上去。例如，在 0.5 万摄氏度附近钙受第一度电离。不达到这个温度，我们只能获得中性钙的谱线；超过这个温度，便可得到电离钙的谱线。当然，还有逐渐变化的中间过程，因为在大范围的温度里，中性的和电离的两种原子是同时存在的。在 1.2 万摄氏度附近，钙发生第二次电离，超过这温度，便出现有双电离钙的发射线，这些谱线所在的区域不是用我们地上的仪器所能看见的。但是，在 B5 星里电离钙的谱线 K 和 H 就绝迹了。

根据计算，恒星大气里的压力对于光谱的特性亦有关系，但影响的程度远远不如温

度。我们还可以证明，在低温下有几类星可以存在，即常见的、与太阳的直径差不多相等的矮星，以及直径超过太阳 10 倍或 100 倍的巨星或超巨星。一般说来，如果在相同的温度之下，这三类星有着相同的光谱。可是，有些谱线对一类星是强的，对于另一类星反而是弱的，这样就暴露了它们是属于不同类的星。在谈到星的构造的时候，我们还要讨论这个问题。

从亨利·德雷伯星表中我们得知星按光谱的分配。各谱型的百分比是：B 为 3%，A 为 27%，F 为 10%，G 为 16%，K 为 37%，M 为 7%。

这些数字表现出某些混乱的情况。就 F 和 G 两种类型而言，F 型的星特别少，这是由于我们分类法里的一个缺点，即为 F 型所定的判别标准比 A 和 G 两型所定的标准太严格了一些而造成的。O 和 B 两型的星特别少，实际上这些星也确实很少。至于 M 型星相当稀少，这却是表面的现象，这是由于这些星的本身亮度很小的缘故。亨利·德雷伯星表内的星至 9 等为止，所以表内只有我们邻近的 M 型星。至于亮星，虽然很远，但我们也能拍摄下它们的光谱。

**太阳附近每边 1000 秒差距的立方体内星的数目**

| 光谱型 | 数目 | 光谱型 | 矮星 | 巨星 |
|---|---|---|---|---|
| B0～B5 | 40 | F | 3 500 | 30 |
| B6～B9 | 400 | G | 6 000 | 80 |
| A0～A9 | 400 | K | 9 000 | 500 |
| | | M | 25 000 | 20 |

上面的统计说明了十个光谱型的星数的比例。对于晚型星，我们进一步分为矮星和巨星两种。从表中看到，红色的矮星是最多的，甚至使我们产生疑问，即比 M 型更冷的星可能还要多呢，只不过这些星因光度太弱，使我们不能看见它们罢了。这样看来，宇宙里岂不是充满了冷星吗？由于对太阳近邻星的研究，我们对于星的光谱型的数目已经有了一个相当正确的概念。

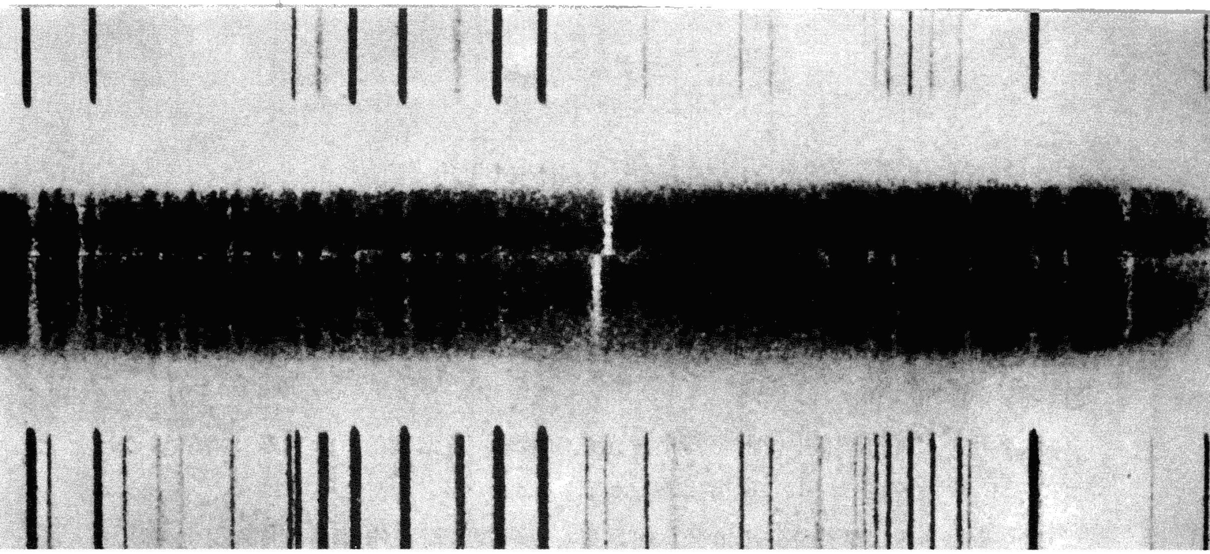


图 634　**摩羯β　分光双星的两个光谱(负像)**

1935 年 9 月 8 日和 10 日所拍得的光谱,这两个光谱的位置是使其中 A 型星的固定谱线重合。钙的强线显然受了多普勒效应的改位。

# 第四十六章

# 视向速度与分光双星

当我们把恒星谱线的波长和地上光源的波长加以比较的时候,我们时常觉察到,这些波长之间有着系统的差异,不是都太短,便是都太长。这效应的原因于 1842 年经多普勒(Doppler)、1848 年经费索(Fizeau)加以说明。费索将多普勒在声音上发现的效应应用于光谱上,所以有人把这种效应叫做多普勒-费索效应。

这种效应是一种很普遍的现象,它说明运动中波源的视频率的变化。大家都知道下面这个常见的事实:火车从我们旁边驶过的时候,它所发出的哨声由尖锐而变为低沉。我们所听见的声音,火车来时,频率变高,去时变低。为使读者明白这个现象,我们再作一个比喻:设想有一架静止的机器,每秒钟发出 10 万颗弹丸,一个静止的观测者当然每秒钟也只能接收得 10 万颗弹丸。如果这位观测者向弹丸的发射处跑去,因为他去迎接弹丸,显然在每秒钟里他会多接收几颗弹丸。用术语表达,即来源的视频率变高。我们再用数字来说明,以便更清楚一些。假使弹丸的速度等于光的速度,即每秒为 30 万千米,每秒钟机

器所发出的10万颗弹丸将分布在30万千米的路程上，于是每3千米内有一弹丸。如果观测者的速度是每秒30千米，他就会多接收一些分布在这30千米上的弹丸，即多接收10颗弹丸。于是，视频率将是100 000＋10，频率的相对增高率是万分之一，这也是每秒30千米的速度和光的速度（30万千米/秒）之比。我们所关心的速度是相对速度，所以不必分辨波源和观测者究竟各有多大的速度。我们把这效应只当做是一种实验的结果，其实在相对论里有它的理论解释。

多普勒-费索效应（或叫做原则）可以这样叙述：当光源和观测者有相对运动的时候，频率所产生的相对增高量等于观测者接近光源的速度与光线的速度之比。

我们把这种在光的传播方向上的速度叫做视向速度，以观测者离开光源的方向为正方向。

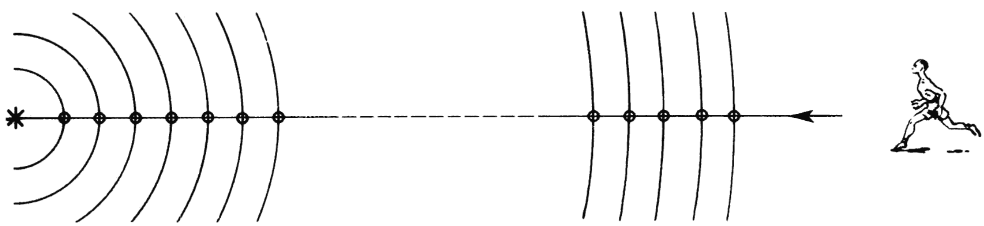


图635　光的视向速度

视向速度的测定是不容易的。因为星的速度与光的速度相比是很小的，很少超过光速的万分之一。在照片上要测量的位移是很小的（图636），数量级是10微米，因此，测定的结果就不会很精确。对于暗星而言，光谱很短，因谱线的重叠，更增加了测量上的困难。我们举一个测定视向速度的实际例子：这是猎户λ星附近的一颗7等星，在HD星表内的号数是37 171。

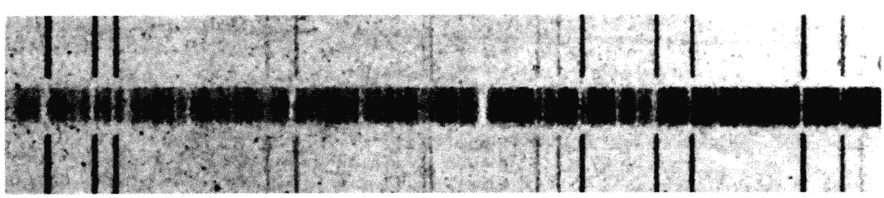


图636　负像的光谱表明HD37171号星的光谱的中心部分有一颗7等星，光谱型是K5。吸收谱线是白色，背景是黑色。两旁是实验室里的铁谱线，它是黑色的谱线在白色的背景上。我们看见，铁的谱线每一条都有和恒星相当的谱线，但是恒星的谱线略向左端，即向紫端改位。这些改位很小，数量级是0.03毫米，相当的视向速度是－85千米／秒，计算的方法见文中下表

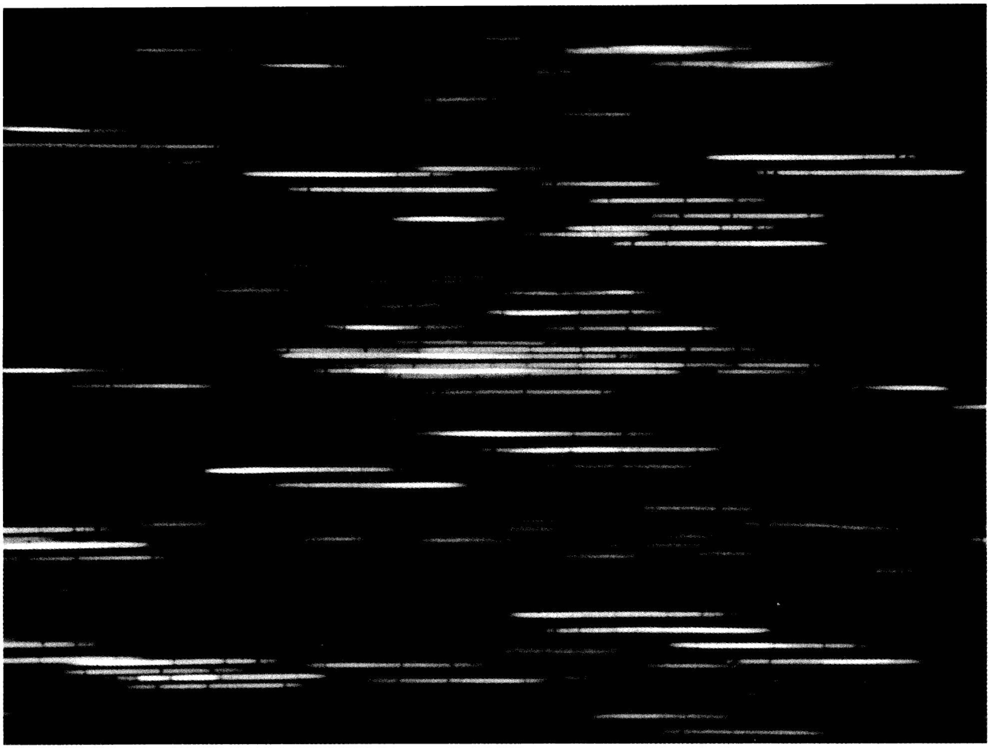
视向速度测定举例:HD37171 星

| 波 | 长 | | |
|---|---|---|---|
| 星的光谱 | 比较光谱 | 差 | 视向速度 |
| 4 004.10 | 4 005.20 | −1.10 | −82.8 千米/秒 |
| 4 070.48 | 4 071.74 | −1.26 | −92.3 千米/秒 |
| 4 270.34 | 4 271.74 | −1.24 | −87.7 千米/秒 |
| 4 324.51 | 4 325.63 | −1.12 | −77.6 千米/秒 |
| | | | 平均值−85.1 |
| | | | 地球的速度校正−18.9 |
| | | | 对于太阳的视向速度−104.0 千米/秒 |

上表内所测量的四条谱线都是铁原子的谱线,它们的波长在实验室里已被精密地加以测定。表内的结果表明,星的相应谱线的波长都约差 1.2 埃。根据计算,可以由这种位移求得视向速度。观测的时候,由于地球的周年运动,使它离开这颗星的速度是每秒 18.9 千米。应当在观测值里加以这数量的校正,由此得到这颗星对于太阳的视向速度是 −104.0 千米/秒。这速度很大,是星的一般速度的 4 或 5 倍。

我们将要说明从视向速度而得的资料是很重要的,有几个天文台都从事于视向速度的测量。所用的光谱是用大望远镜拍摄的,然后再在实验室里进行视向速度的测量。这工作虽然已经做了 50 多年,可是被我们测得视向速度的星不过是 1.5 万颗,而且所观测到的只限于亮星。

很久以来,天文学家便想利用物端棱镜所拍摄的光谱去测量视向速度,但是因为不能拍摄比较光谱,所以只能得到视向速度的近似值。因此,需要另外寻求一种新的技术。法国南方天文台用一种特制的物端棱镜以测视向速度。这种仪器上有一个复合棱镜,当星对于观测者是静止的时候,它使 $H_\gamma$ 谱线不发生偏向;如果星离去,这谱线便向红端稍微移动。如果再将棱镜逆转,我们便拍得和前一个光谱相反的光谱,于是,由相同谱线的位移的量便可测量视向速度(图 637)。这个方法虽然不及经典方法那样精确,但可用以测量别的方法不能测得的许多暗星的视向速度。因观测者是在运动的地球上,所以星的视向速度里包括地球运动的影响。但是,地球运动的速度、大小(30 千米/秒)和方向我们是知道的,所以视向速度的实测值应该加以地球运动的校正量,以便使它成为相对于太阳的真实的结果(太阳可以当做是不动的)。



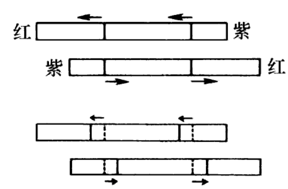



**图 637、638　在这张图内有两个光谱是按照费伦巴赫(Fehrenbach)的办法运转镜头两次拍摄的。 这种方法的原则是：如果我们使星的视向速度改变，例如使其增加，则上面的光谱向左改位，下面的向右改位。 由这些光谱的相对位置便可以计算出视向速度**

视向速度的星表，1932 年穆尔(J. H. Moore)所发表的，有星 6 739 颗；1953 年威尔逊(R. E. Wilson)所发表的，有星 15 115 颗。

这些星表说明了有些星的视向速度是变化的。变化的原因有以下几种：因双星的相对运动而引起的变化，我们将详细讨论这种情形；还有一些单颗变星，特别是造父变星，因脉动作用，星球的直径呈周期性的变化，因而造成视向速度的变化。

先研究一下由星的不变的视向速度所引出的结果。星的视向速度一般是很小的：约有 50%的星，视向速度不及 18 千米/秒；约有 80%的星，视向速度不及 30 千米/秒。100 颗星中只有 4 颗的视向速度超过 60 千米/秒。为数很少的超过 63 千米/秒的星，叫做高速星；这些星具有特殊的性质，我们下面还要谈到。视向速度的两个极端的数值是－303

千米/秒和+547 千米/秒。

如果我们研究天空某一小区域内所有的星的视向速度,我们将觉察到,它们彼此的差异很大。这说明,星在它所属的星系里,也有它自己固有的速度,正如气体的分子对于它附近的分子有其固有的速度一般,可是这样并不妨碍分子整体的运动,星的情况也是如此。只需粗略地研究便知,在武仙和天琴星座内,星的视向速度平均值是+20 千米/秒,至于和武仙座方向相反的天鸽、天兔和大犬星座里,星的视向速度平均值是-20 千米/秒。在这些星座中间距离的大圆上,视向速度的平均值为零。这种奇特的现象是不难解释的,只需假设太阳率领它的行星,以每秒 20 千米的速度,向武仙座内的一点而去。这一点叫做太阳运动的向点(第五章)。

用统计的方法计算出相当精确的向点的坐标和速度如下:赤经为 18 时,赤纬为 30°,速度为 20 千米/秒。

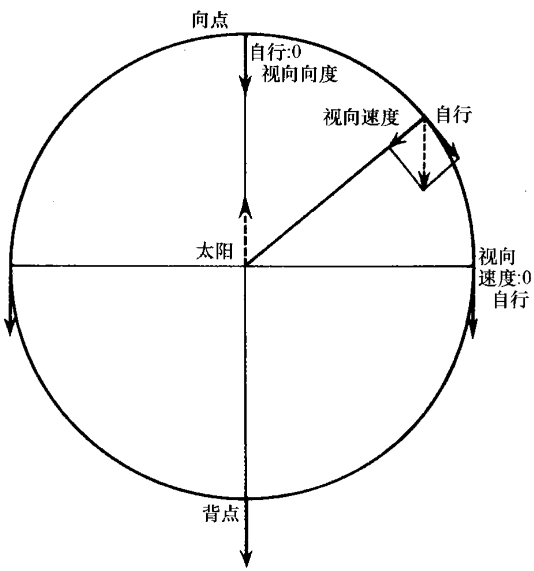



图 639　太阳向武仙座内移行的效应(向点)
在向点附近的星象是和太阳接近,在背点附近的星象是要离开太阳,但是这些运动只在分光镜里才可以测得。至于在这两点之间的星象是要和背点接近,在天球上的自行很小。

这一点很接近武仙 ν 星。但是,这 20 千米/秒究竟是怎样的一种速度?是对于哪一个坐标系在运动呢?这是太阳对于全体近星(它们的平均速度假设为零)的速度。很明显,如果把坐标系变换一下,这个数字也就变了。如果根据更大的体积内的星去测定太阳的速度,无疑这向点的坐标是会改变的。例如,以远的红色变星为定标星,向点就大不相同:赤经为 17 时 40 分,赤纬为 38°,速度为 35 千米/秒。

我们所能利用的最大的星系是球状星团组成的体系。我们可以假设,这巨大的集团对于我们的银河系是静止的。梅奥尔(U. N. Mayall)这样求出的向点是银河上的一点,坐标是:赤经为 21 时,赤纬为 47°,速度为 200 千米/秒。

这和第一个向点绝对没有关系。这新的向点是在和人马区银河中心正交的方向上。这向点相当于太阳围绕银河系中心的旋转运动。整个本星系都被这种运动所带动,太阳

的 20 千米/秒的速度就是对于这个本星系而说的。

由视向速度所表明的太阳的运动，也可从自行的研究中得到印证。自行也和视向速度一样，有个别的变化，但是就平均值来说，在向点和相反的背点处，自行都是零(图 639)。如图所示的那样，自行在这两点当中的大圆上为最大。但是，因太阳朝向点运动而生的自行随星离开太阳的距离而变化，对于一颗在 10 秒差距的星，自行是每年 0″.4；对于一颗 1 000 秒差距的星，自行是每年 0″.004。因自行是很微小的，所以人们对于从与距离无关的视向速度所得的数据，比对自行的数据更感兴趣。我们已经说过，怎样把这方法倒过来，由自行去求一群星的距离。

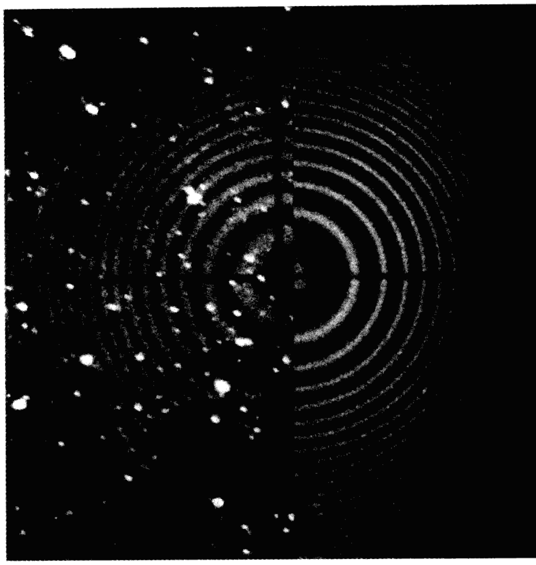


**图 640　我们可以用摄谱仪或者用干涉仪去测量星云的视向速度**

我们复制用法布里-珀罗的干涉仪所拍得的干涉环。右边是用实验室里氢的光源，左边是用美洲星云(图 575)的光所拍得的光环。两系列干涉环的直径的差异，表现了星云的视向速度的影响。

一些高速运动的星显然不属于我们本星系的集团，它们像过客那样，穿过我们这个集团。对于这些过客的研究，以后我们还要谈到。

## ◀ 分光双星 ▶

我们说过，对双星的观测只限于它们之间距离相隔相当远的星。根据开普勒第三定律，它们便是周期长、轨道速度小的星。

对于很紧密的双星，肉眼就不能把它们分辨开。设想有两颗相距如像太阳和地球那样的星，这两颗星的总质量等于太阳的质量，它们的运转周期是一年，速度是 30 千米/秒，那么，这对双星即使离开我们只有 5 秒差距，我们用最大的望远镜也不能把它们分辨开的，因为它们在我们眼里相距不过是 0.2 弧秒。但是这颗星是可以用肉眼看见的，如果我们测量出它的视向速度是随时间呈周期性的变化，我们便可判断出它是双星。对于更紧密的双星，这种情况更明显。根据计算，相隔 10 个太阳半径的两颗总质量等于太阳的星，

它们绕公共重心运转的周期是 2.5 日，速度是 100 千米/秒。在 2.5 日里，这颗星的速度离它的平均值的变化是由＋100 千米/秒至－100 千米/秒。这样的速度变化是容易观测到的。但是，要想分辨出双星是绝不可能的，即使这对双星距离我们最近、其间的视距离只有 0″.05。人们不禁要问，是不是有这样类型的双星呢？经观测表明，这样的双星是很多的。

1889 年皮克林研究视双星开阳（大熊 ζ）的主星时，他发现这颗星的光谱里谱线是成双的，而且这些谱线的位置在大约 20 日的周期里变化。这是一对分光双星，我们立即就要谈到上述这种变化。奇怪的是，这颗主星和另外一颗伴星（开阳 β）是我们很早发现的一对视双星。

我们复制 1945 年塞斯科（C. U. Cesco）在马克当纳天文台所拍得的这对分光双星的几个光谱（图 641）。现在先讨论 7 月 1 日所拍得那个光谱，那时双星的位置如图 642 所表示的那样。那时一颗星离观测者而去，它的谱线向红端移动；另一颗星向观测者而来，它的谱线向紫端移动。在 7 月 1 日所拍的光谱里，双谱线是很明显的（图 641），每条谱线分裂为两个成分，即是向红端（右）的一条和向紫端（左）的另一条。

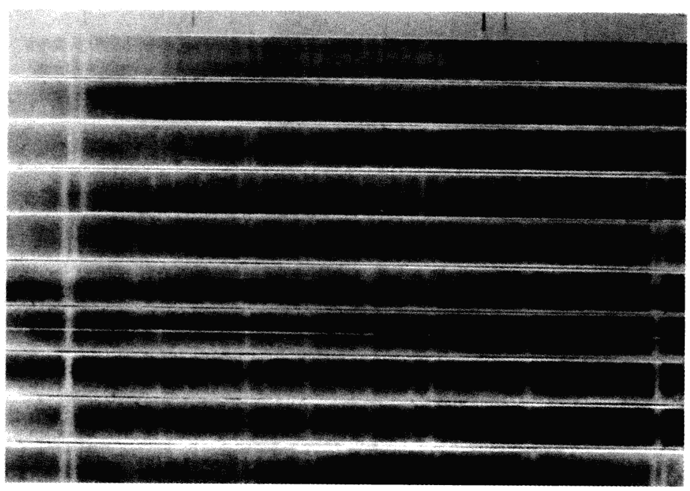



**图 641　一系列光谱**

负像，说明大熊 ζ 星光谱的双重性和双星在轨道上运行时光谱的变化。

这以后，双星在它们的轨道上继续运行，到了一定时刻，它们运动的方向恰好和视向的方向正交，两颗星的多普勒效应变成零，于是谱线都成了单的。对于开阳星，这种情况发生于 7 月 10 日。这以后，谱线又分开，但是两颗星的谱线位置和从前相反了。

在继续研究这个比较复杂的开阳分光双星之前，我们谈一谈五车二（御夫 α）的情况。这对分光双星的轨道差不多是圆的，与图 642 的情况很相近。五车二的变化周期是 104 日，变化很有规则，可以用正弦曲线代表（图 643）。主星的视向速度变化由 5 千米/秒至 55 千米/秒，伴星较暗，难于观测，速度的变化比较大，由此算出伴星的质量是主星质量的 3/4。

再回过头来讨论开阳的情形。它轨道的偏心率很大，长轴差不多指向地上的观测者。图 644 代表这双星的一个轨道。星在 $A$ 点时，速度和视向正交，视向速度为零。随后，轨道上星的速度逐渐减少，但速度在视向上的分量开始增加，到了 $B$ 点，该分量达到极大。由面积定律得知，这极大值很快就要达到。这以后，速度在视向上的分量逐渐减少，到 $C$ 点时又变为零。由 $B$ 到 $C$ 所经行的时间比由 $A$ 到 $B$ 所经行的时间要长得多，其余的变化和以前的半段是对称的。

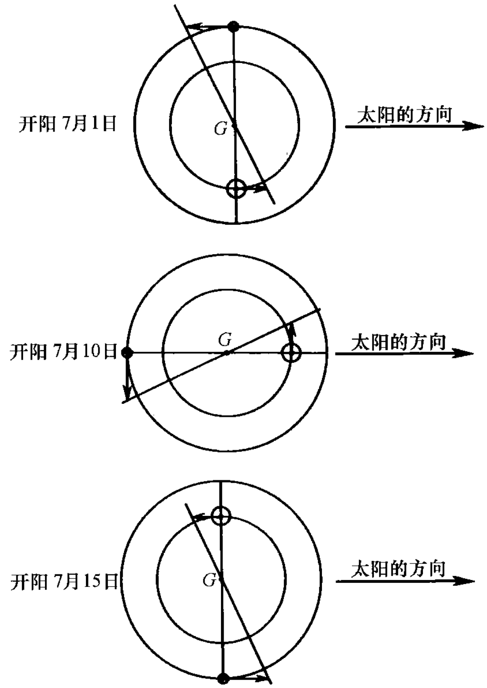



图 642　表示某些时期这对双星的相对位置

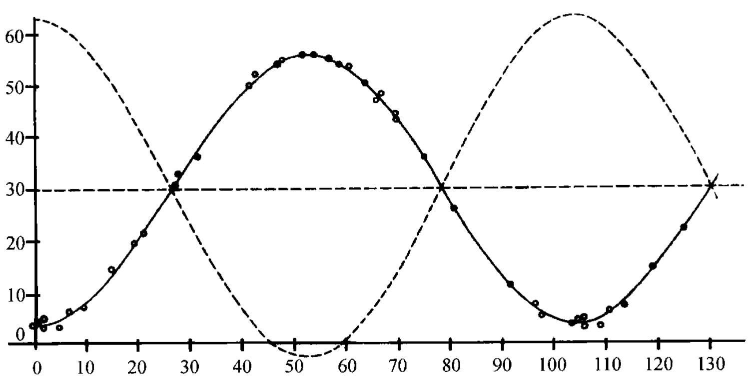



图 643　五车二的视向速度变化曲线

1901 年里斯（Reese）绘制。这条曲线上各点是由质量最大的 G 型星求得的。另一颗 F 型的伴星，因谱线宽，视向速度难于确定。图中曲线的变化很有规则而且对称，这说明轨道是圆形的。

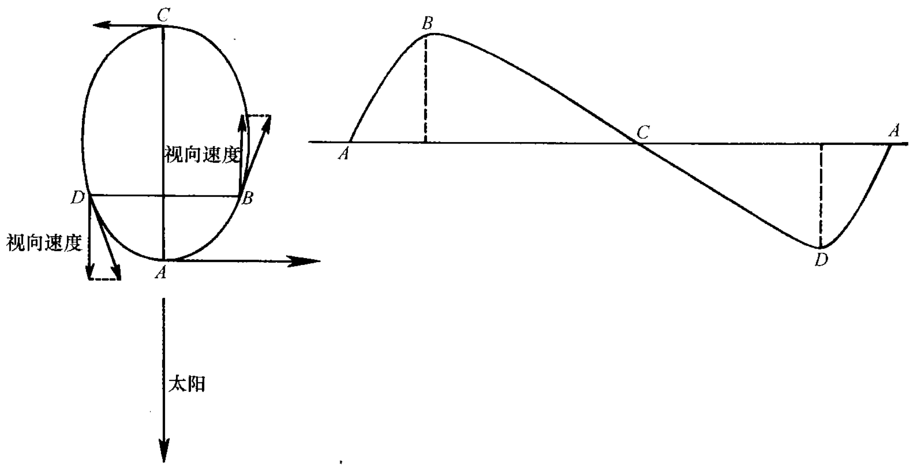



图 644 轨道长轴向太阳的星的轨道和与它相当的视向速度曲线(这与大熊ζ 星的情形相近,参看图 645)

由这些例子,我们便可了解:如果视向速度的变化曲线绘成以后,我们就可以测定轨道根数。由此求得的数量有周期、偏心率、椭圆轨道的长轴和视向之间的交角。我们不能直接测量轨道的长轴,而只能得到它在视向上的射影,单位是若干千米。这里很难运用开普勒第三定律,因为我们知道的只是长轴的射影,因此我们不能像视双星那样得到它们的质量,我们所能得到的是一种打了折扣的质量,大约是真质量的 3/5。

在一些特殊的情况下,我们有方法对分光双星作目视的分离观测时,我们便可将分光和目视两项研究的结果合在一起,这样就会得到关于这颗星的一些很宝贵的资料。梅里尔(Merrill)使用干涉仪将五车二分离,这对双星距离最远的时候,也只有 1/20 弧秒。

这样定出的五车二的根数有周期是 104.0 日;两星间的平均距离(确切些,便是两个长轴半径之和)是 1.26 亿千米,比起日地间的距离还要短些;偏心率小于 0.02;轨道和天球切面的交角是 41°;两星的质量是太阳的质量的 4.2 倍和 3.3 倍。除这些根数以外,将目视和分光观测加以比较,我们便很精确地求得双星距离太阳是 15.8 秒差距。

记载分光双星的轨道的表是穆尔和纽包尔(Neubauer)于 1936 年发表的,表内载有 524 个星的轨道。如果这个数字与视向速度有变化的星的数目相比,可算是很小。据估计,6 颗星之中当有 1 颗是分光双星,即使对于 HD 星表内的星而言,也该有 3.5 万颗分光双星,最保守的估计也有 2 万颗。我们从这张星表内取出 22 颗最亮而且有代表性的分光双星,列表如下。

**22 颗明亮的分光双星的确定轨道**

| 星名 | 星等 | 光谱型 | 周期 | 偏心率 | 轨道范围 | 估计的质量 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 仙女 α | 2.15 | A1 | 96.70 日 | 0.533 | 3430 | |
| 凤凰 α | 2.44 | G5 | 3 849 日 | 0.33 | 29000 | |
| 白羊 β | 2.72 | A3 | 107.0 日 | 0.892 | 2503 | |
| 英仙 β | 2.2～3.5 | B3 | 2.867 日 | 0.033 | 173 | |
| 御夫 α | 0.21 | G1 | 104.0 日 | 0.016 | {3680<br>4640 | {1.19<br>0.94 |
| 猎户 τ | 2.87 | O8 | 29.136 日 | 0.742 | 3056 | |
| 御夫 β | 2.07～2.16 | A0 | 3.960 日 | 0.00 | {593<br>605 | {2.21<br>2.17 |
| 大犬 α | −1.58 | A2 | 50.04 年 | 0.594 | 47700 | |
| 船舻 ι | 2.83 | G8 | 1 066.0 日 | 0.088 | 6050 | |
| 双子 $\alpha_1$ | 2.85 | A8 | 2.938 日 | 0.002 | 128 | |
| 双子 $\alpha_2$ | 1.99 | A3 | 9.213 日 | 0.499 | 142 | |
| 小犬 α | 0.48 | F3 | 40.23 年 | 0.310 | 25400 | |
| 船帆 χ | 2.63 | B3 | 116.65 日 | 0.19 | 7320 | |
| 大熊 ζ | 2.40 | A2 | 20.54 日 | 0.541 | {1530<br>1570 | {1.42<br>1.39 |
| 室女 α | 1.21 | B2 | 4.014 日 | 0.10 | {697<br>1110 | {8.97<br>5.63 |
| 牧夫 η | 2.80 | F7 | 495 日 | 0.232 | 5310 | |
| 半人马 α | 0.33～1.70 | G5—K1 | 80.09 日 | 0.521 | | |
| 北冕 α | 2.31～2.42 | A1 | 17.36 日 | 0.377 | 770 | |
| 天蝎 β | 2.90 | B1 | 6.828 日 | 0.262 | {1032<br>1736 | {14.24<br>8.46 |
| 孔雀 α | 2.12 | B3 | 11.75 日 | 0.01 | 117 | |
| 摩羯 δ | 2.98 | A7 | 1.023 日 | 0.019 | 92.6 | |
| 杜鹃 α | 2.91 | K5 | 4 197.7 日 | 0.385 | 38510 | |

轨道范围便是半长轴在视向上的射影，单位是万千米。

估计的质量是真质量乘以交角的函数，交角常是未知量。

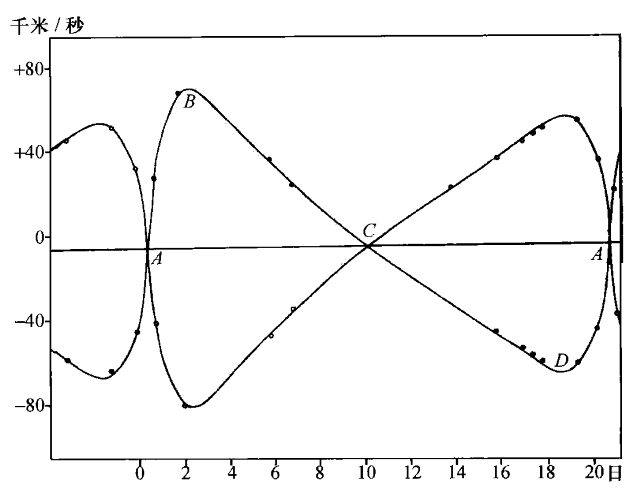



**图 645 大熊 ζ 星的视向速度曲线（塞斯科所观测的结果）**

将这曲线和图 644 加以比较。这两条曲线基本上是彼此对称的；这对双星的质量基本上是相等的，因此双星的轨道大小差不多是相等的。

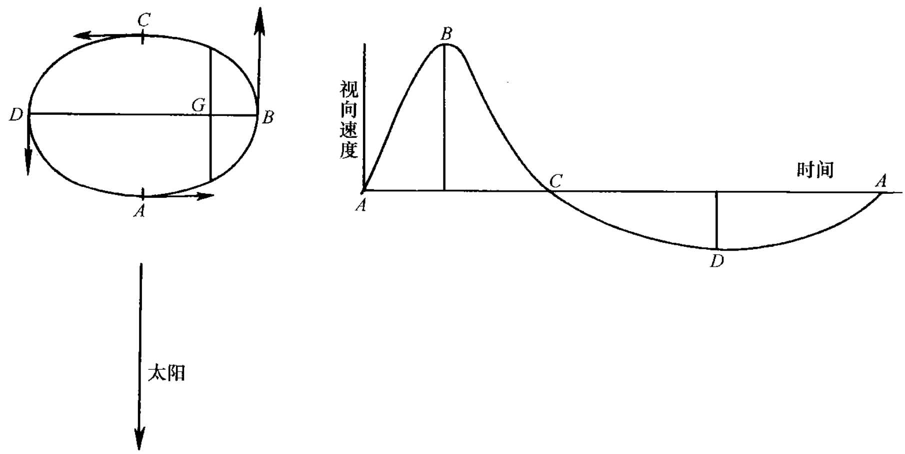



图 646　轨道长轴和太阳方向正交的星的轨道和与它相当的视向速度曲线

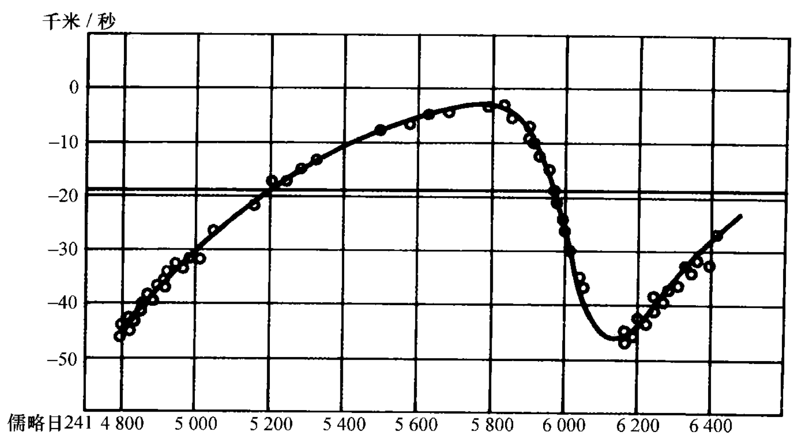



图 647　摩羯 β 星的视向速度曲线

一般情况和图 646 相似。这条曲线的上下方向与图 646 的上下方向相反，因为这颗星在轨道运行的方向和图 646 所表示的情形相反（坎贝尔的测量结果）。

牧夫 i 的 B 星周期最短，只有 6 小时，其轨道范围很小，只有 100 万千米的数量级。两星的质量之比是 1∶2。

以下我们列举出几个最大的数值：周期最长的是人马 ε 星，周期是 11 年，半长轴超过 26.6 亿千米；偏心率最大的(0.9)属于双鱼 σ 星；最大质量的星是一颗 7 等星，主星具有太阳的质量的 113 倍；速度变化最大的星是船尾 V 的伴星，它的速度由 −340 千米/秒变至 +360 千米/秒，周期是 1.5 日。

很久以来，天文学家有一个疑问：对于目视双星而言，分光双星是不是另外的一类？

今天我们已经能够回答这个问题:它们确是相同的一类。最紧密的双星和最远的需几千年才能公转一周的双星,都是同属于一类的。我们知道,最常见的双星相隔是10个天文单位(即日地间的距离的10倍),相距为1和1 000天文单位的,数目就减少了一半。目视双星和分光双星的区别,纯粹是仪器上的原因,只有很紧密双星,才能用分光镜观测到速度的变化,至于用肉眼可分开的,只限于相隔很远的双星。以后我们还要讨论这个问题。

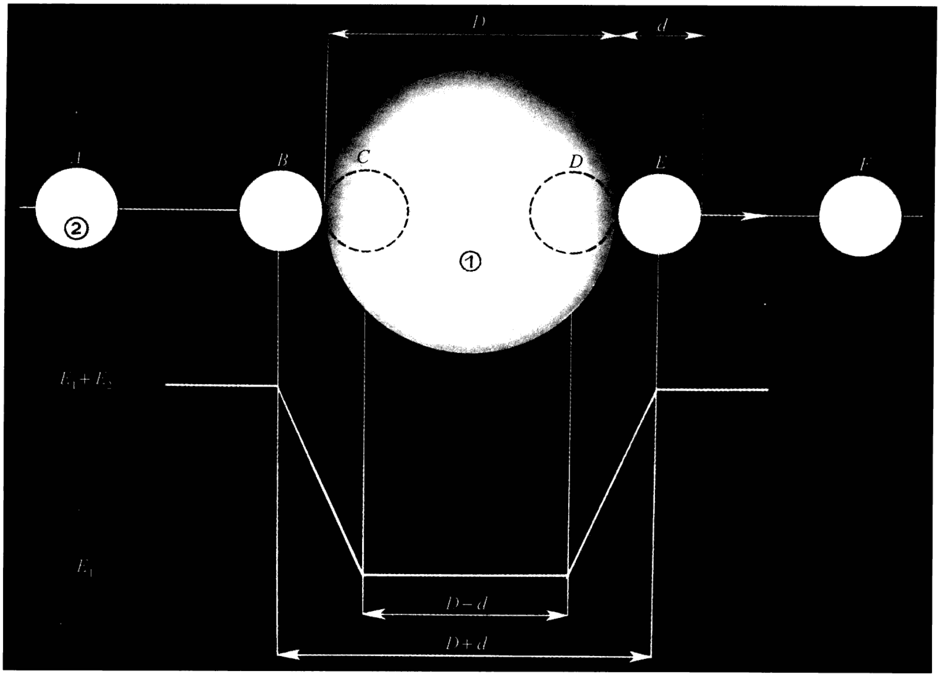



图 648　交食双星示意图

这是同时是全食和中心食的情形以及与其对应的光变曲线。

# 第四十七章

# 交食双星

从前面的一张表可以看到，有些分光双星相隔的距离和它们的直径有相同的数量级。那么我们可以预料，这样的双星可以形成互相交食的现象。

我们知道许多像这样类型的双星。它们可以列入变星里去，但是我们把它们特别抽出来讨论，因为它们的光亮变化只是外表的，而本身的亮度像太阳一样，是不变的。

它们的光变曲线是很简单的，可以用图 648 的图形来表示。设想一个直径较小的伴星围绕一个直径较大的主星做相对运动，绘出伴星绕到主星圆轮后面的位置。在 $A$ 处没有食的时候，我们看到的是两星的总亮度，恒常不变；可是当伴星到 $B$ 点接触主星的时候，交食开始，伴星逐渐被掩蔽起来。星的总亮度渐减，一直等伴星到了 $C$ 点的位置。这以后亮度不变，一直到 $D$ 点处，这期间星的亮度只是主星的亮度。等待伴星到了 $E$ 点处，交食便终了。光变曲线可按对称的形式完成，正如图 648 上所表现的那样。

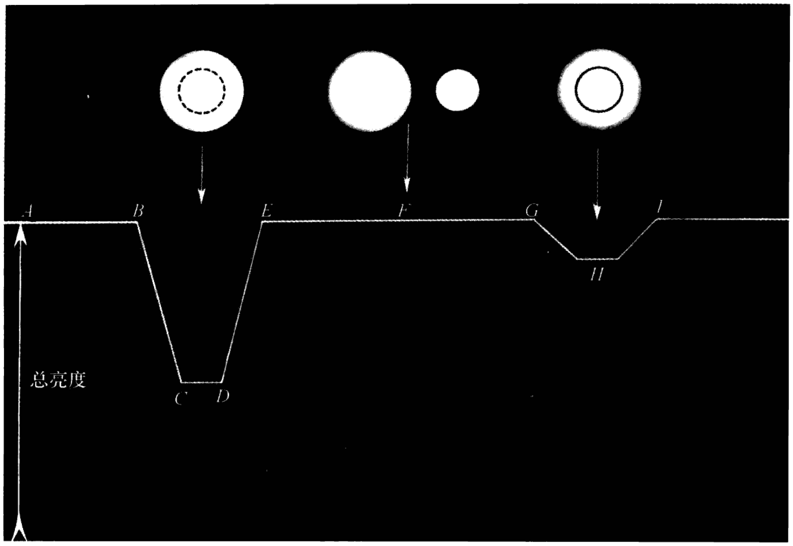



图 649　交食双星（在 $GHI$ 部分是环食阶段）

由图 648 可见，在从 $B$ 点处到 $E$ 点处的全食阶段，伴星所移动的位置等于两星的直径之和；在不变的极小亮度阶段，伴星所移动的位置等于两星的直径之差。因此，我们可以得到一个测量两星的直径的方法。但在讨论这个问题以前，我们仍继续讨论伴星绕主星的运动（图 649）。当伴星快要完成轨道半周运动的时候，我们看到它到了 $G$ 点处，又要形成另外一种交食。现在是伴星掩蔽主星的一部分而造成偏食。星光继续减少，一直到伴星完全在主星的圆轮前面，如同在 $H$ 点处的情况，星光又恒定不变。然后，现象又对称地重新演变，一直到 $I$ 点处的阶段。所以我们所求得的光变曲线，正如这里所描绘的，两次极小的相对值随双星的表面和它们的相对亮度而变化。如果伴星大而不亮，则主极小很深，次极小差不多不存在。这就是图 650 所表示的情形。

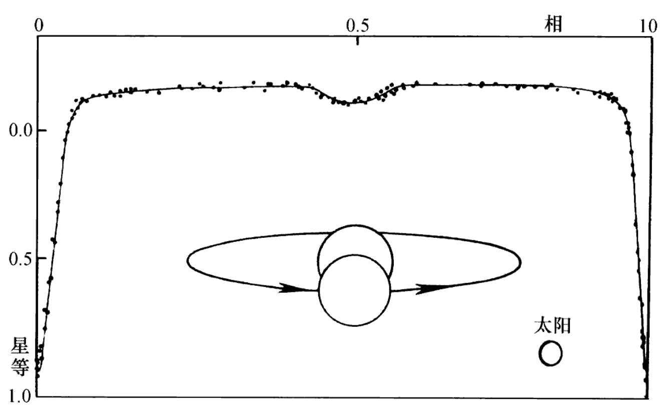



**图 650　大陵五的光变曲线**

这是 1928 年丹戎在斯特拉斯堡用他的猫眼光度计所求得的。下边的附图是在次极小的时候，即亮星偏食暗星的时候，双星系的情况。

在一般的情形下，我们的视线不可能恰好在轨道平面上，而是成或多或少的俯瞰形势，因此交食不会是全食的，而成了如像大陵五所表现的情况：两极小成了尖点的情况。图650代表大陵五的光变情况。我们察觉到，有些双星不在交食的时候，星光也有一些变化，这可以解释为黑暗的伴星被明亮的主星照亮而产生的变化。这种效应亦可解释为两星椭长的形态。由于潮汐的效应，两星在吸引力的方向上伸长，因为它们总是各以相同的一面互相对照着的。我们说过，月亮常以相同的一面对着地球，也就是这样的现象。两星在我们眼里所看到的部分是变化的，在连续两次交食的中间，伸长的两星以两个椭圆的面貌呈现在我们的眼前，我们所看到的表面是极大的。

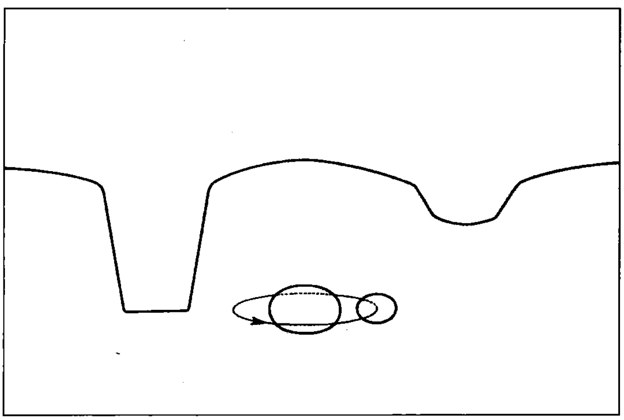


图651　椭长形临边昏暗的双星

在全食的情况下，当小星在大星前面经过的时候，极小光度也不是恒定不变的。这是因为恒星和太阳一样，光亮不是到处都相同的，边沿比中心要黑暗一些。这样的交食，愈到中央光亮便愈减少，于是光变曲线便如图651所表示的形状。

这样简略的叙述表明，我们从星光变化的研究里可以得到多么丰富的知识。当然，只有在高度精密的测量里，结果才有价值。现在总结一下我们从交食变星的研究所得到的重要结论。

如果我们只知道光变曲线，我们就可以得到一些有趣的知识。首先我们知道了双星的直径，虽然它不是绝对准确的数值，只是和两星的轨道直径的比值。根据相当简单的计算，可利用这个数值去求得两星的密度。这样求得的密度比太阳的密度一般要小得多。

对于许多交食双星而言，所求得的周期是短暂的。因其短暂，便使得这些双星在轨道上运行的速度很大，所有的交食双星都可作为分光双星来观测。如果我们再知道视向速度变化曲线和视差，我们便可推知轨道的直线范围。这个数据意外地补足了由光变曲线得来的数据，于是我们便基本上获得双星的一切根数，显著的有轨道的直径、以千米来表示的两星的半径以及两星的质量和太阳的质量之比。

在一些复杂的情形下，我们还可以决定双星的临边昏暗和椭度。这些都是在别的星上所不能获得的数据。

## ◀ 由双星的研究所得的知识 ▶

由上面所说的三种双星——目视双星、分光双星和交食变光双星——的研究，为我们提供了一些有趣的数据，现在总结在下面。

双星和聚星数目之多是惊人的。艾特肯的星表里有近距目视双星 17 180 对，这样便使 18 颗星之中有一颗是双星。如果我们像艾特肯一样，将远距双星和靠近至不能分辨的双星故意略去，那么这数字之大更是惊人。分光双星的数字更高，在我们所研究过的星当中，有 18%都表现出视向速度是有变化的。

当然，不应该把这些变速度的星都当做是分光双星，可是我们把它们当做占总星数的 18%是不算过分的，因为有些速度被认为是不变的星也有变化的嫌疑，从这里略掉的可以补偿那里计算太多了的。如果我们把上面的两个结果加在一起，我们便得到一个骇人的数字，即每三或四颗星之中便有一颗是双星系或聚星系，而且这样的比例是经过别的几个方法加以印证的。例如，在距离太阳 5 秒差距范围内的 39 颗星之中，便有 20 个组成双星系和 6 个组成聚星系。我们可以说，对于太阳附近的情况，我们的认识是相当完善的。这里 1/3 的比例足以证明上面所说的那个比例。

柯伊伯还研究了 11 秒差距内的星，其所得的结果更是使人惊奇。他说，所有的星当中 80%的组成双星系或聚星系。丹戎和库德尔(Couderc)在最近的研究中表明，两颗星当中有一颗是双星或者聚星。这些结果都表明，单颗星是例外的，双星才是常见的情况。双星起源的假说必须说明这一事实：组成我们宇宙的成员，基本上不是单体的。

把双星分为三类，显然不是由于它们的本质的不同，而是由于我们观测方法有差异。可是我们要追问，由于它们的形成和历史的差异，双星究竟可不可以分类？这是不容易回答的问题。

首先，如果我们按照双星的属性，如周期、质量、光谱等分类，并没有发现任何的不连续性。

例如，我们知道，双星中有相距近到日地距离的 1/100，即和太阳的直径相等的，但也有远隔至日地距的 10 万倍的。这两极端之间的分布是连续的，可以用一根曲线表示，其中有一极大值，最常见的双星相隔约日地间的距离的 10 倍。在这两极限之间并无不连续

之点。

我们在双星的周期和它们轨道的偏心率之间找出一些有趣的关系。近星的轨道基本上是圆的，远星的轨道常是十分椭长的。周期和光谱型之间有一个表面上的关系：热星如A和B型的，周期最短。

我们可以这样说，分光双星和交食双星常是偏心率小的热星；至于目视双星，则常是在椭长轨道上运行的比较寒冷的星。可是这两类双星之间并无不连续的表现，有些双星可以同时是目视双星和分光双星。例如，小马δ星和长蛇ε星就以它们有这两类的观测，而被人认识得很清楚。如果望远镜的分辨力增大1 000倍，如果我们对于视向速度的测量更加改善，而且可达到比较长的时间，所有的双星都可以同时是目视双星和分光双星。可是，交食双星好像可自成一类（它们可以以仙后W星为代表），它们是由周期短、自转快、由F5至K型的矮星所组成的。对于冷星来说，这些都是反常的星。

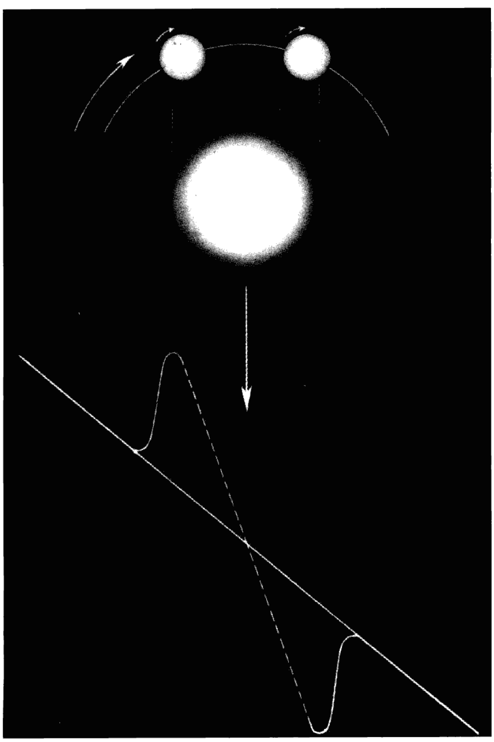


图652 仙王U双星系当明亮伴星被食时的示意图

在食开始的时候，观测者看见亮星的左边沿，这边沿离开我们而去，这便表现为速度曲线上的一个尖点。在食结束的时候，向我们来的一边沿出现，这样造成了曲线的凹穴处。

有些光度和分光的特性是难于解释的，但是所提供的事实是非常有趣的。我们已经说过，近距双星应是很长的椭球，甚至像蛋的形状。这样的形状才可以解释光亮在极大期所起的变化。

临边昏暗可以解释大星被食时光度的变化。在这个阶段里，我们观测到一系列的现象，今天已是人所悉知的了。在食甚之前一瞬间，光亮从被食的星的边沿而来。如果这颗星在自转，我们所观测的就不是星的平均速度，而是这边沿上的自转速度，因为星的自转和星的公转的方向一般是相同的。这边沿离开我们，在交食开始的时候，视向速度骤然增加正方向上的数量（图652）。在食甚之际，这种情况重新恢复，可是经过食甚以后，视向速度又逐渐变化到向我们转动的那一边沿的速度。这种奇特的情况有时显得很特殊，如像在仙王U星的情况（图653）。

在这一阶级里，有时我们又发现另外的奇特情况。例如，发射谱线的出现，这说明主星周围包有一个气壳。

对于有些密近双星，我们必须想出很复杂的模型，去解释观测到的一切细节。

例如乔伊（Joy）为金牛 RW 交食双星所设想的模型（图 655）。伴星是一颗相当小却很明亮的 B 型星，主要是一颗大得多却暗得多的 K 型星。而且在那颗 B 型小星的周围有一圈像土星的光环那样的氢气环。图 656 表示这对双星交食的各个阶段。

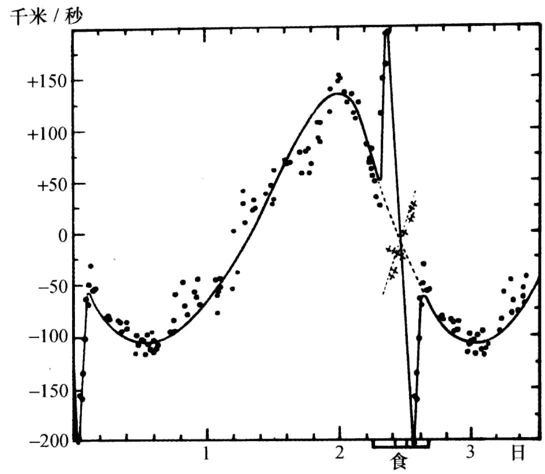



**图 653　仙王 U 星的视向速度，根据斯特鲁维的观测**

在食的时候，亮星的速度显然不能观测，而且我们只看得见巨星。图中的小十字代表对于巨星的观测。

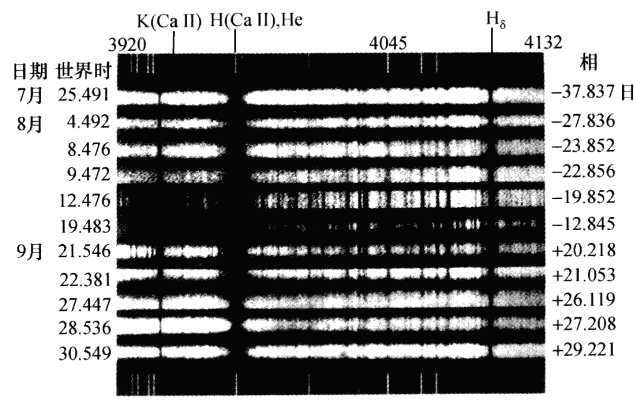



**图 654　1950 年 8 月御夫 ζ 星食时的光谱**

在没有食的时候，B 型亮星的光谱很显著，加上 K 型冷星的黯淡的谱线。但是当 B 型星被食的时候，特别是全食的时候（8 月 9 日），只有冷星的光谱出现，自然须加长露光的时间。

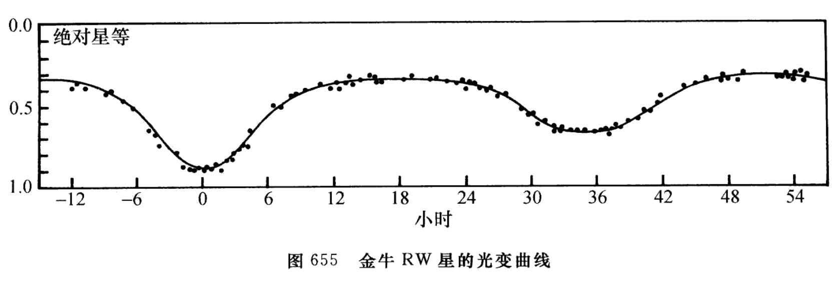



**图 655　金牛 RW 星的光变曲线**

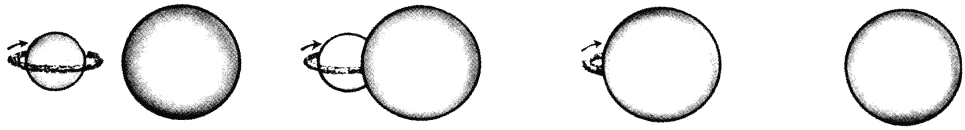


图 656 金牛 RW 星的模型〔根据乔伊(Joy)的研究〕

再看一下天琴β星的模型。这颗星自 1784 年以来,人们便认为它是一颗变星。它的周期是 13 日,极亮时星等是 3.5,主极小 4.1,次极小 3.8。主星是 B9 型,视向速度的变幅是 367 千米/秒。伴星的光谱型是 B2 至 B5,它的速度变化很小,这样便使莫里(Maury)算得的伴星的质量很大。光变曲线近似于圆,潮汐的作用使得双星很椭长。

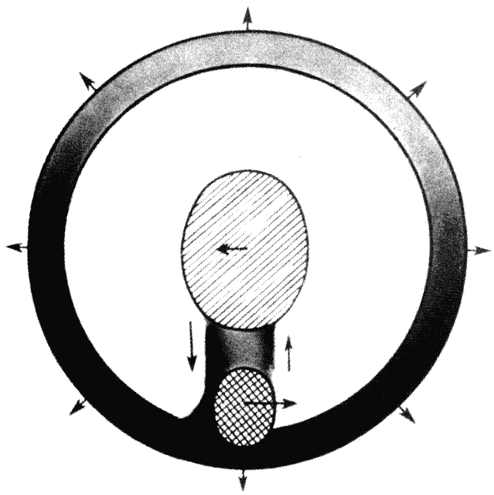


图 657 天琴β 星的模型(根据斯特鲁维的研究)

事实上,情况还更复杂得多。图 657 是斯特鲁维(O. Struve)为这颗星所拟定的模型。天琴β双星的结构是一颗光谱型 B5、直径很长的热星,伴星是光谱型 F 的小星。双星整体被一团膨胀的星云所包围,两颗星球间有一种对流的气流,热气从 B 星流到 F 星,一部分气体扩散到星云里去,另一部分气体冷却后复流回到 F 星去。图 657 内气环里颜色深的地方,所含的物质也多一些。箭头表示移动的方向。

斯特鲁维所拟定的这对双星的复杂模型,足以解释光谱和光亮的变化。柯伊伯认为,这气体环实际是螺旋形的,物质不断地由这里逃散到空间里去。

天琴β星是一颗很特殊的星。如果我们从它的轨道平面正交的方向去观测,它将不会是一颗变星,而只能观测到从周围的星云发射出来的一些发射谱线。在我们观测到的光谱里,天琴β星也有这些谱线。这是一对新近形成的、正在剧烈演变中的双星。据柯伊伯估计,逃逸出的物质并不算多,如果这颗星的质量是太阳的 100 倍,像这样的发射还可经历几百万年。可是在周期上,我们观测到了一些小的变化。我们认为,这对双星缓慢地逐渐彼此离开,在几百万年后,成为我们常见的经典形式。

双星形成的问题还没有得到解决,当前有三个对立的假说。捕获说假定银河系里两颗单星偶然接近,互相捕获,而成双星。但是对于这假说,有两个困难不能得到解决。首

先，互相接近的双星，轨道应是抛物线的或双曲线的，犹如太阳所捕获的彗星那样，如要使轨道成为椭圆，除了太阳之外，还必须有像木星那样的第三者。其次，星的数目虽然很多，但是它们彼此间的距离相隔很远，若要它们彼此捕获形成这样多的双星，显然是困难的。也许在遥远的过去，我们的星云还很小、很密的时候，很多对双星可能在银河中心形成。

第二个假说假定星生成时便是双星系或聚星系。但是我们不禁要问，星际物质为什么总是凝聚为成双的核呢？

第三个假说假定双星是由一颗旋转很快的单星分裂而成的。虽然这种假说还可以解释在星云里质量大距离近的双星（如像天琴 β 星）的诞生，可是却很难解释它们怎样过渡到相隔很远的双星。因为两颗远距双星的动量或能量要大一些，那么什么机制给它们以这些附加的能量呢？这很难说明。

所以双星的形成仍然是一个谜。

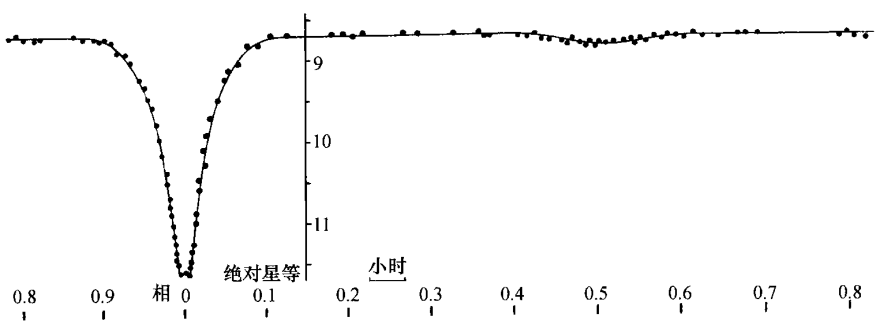



**图 658　三角座 X 星的光变曲线**

勒努韦耳（Lenouvel）在法国南方天文台用光电管求得，这颗食变星的周期是 23 时 20 分。

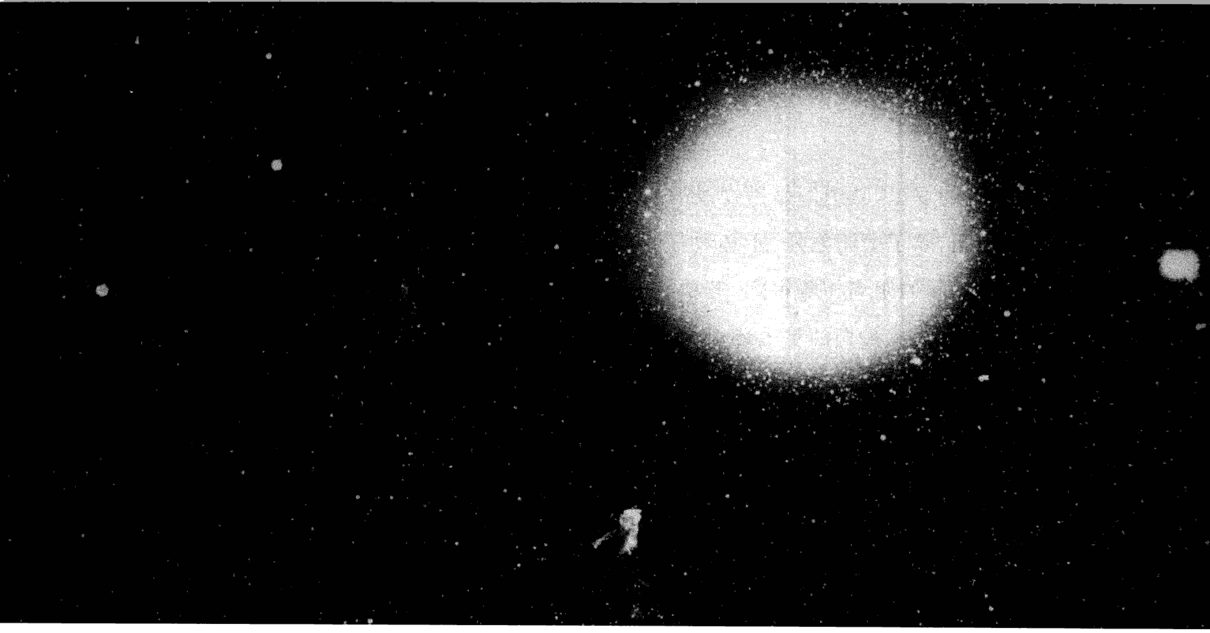


图 659　仙后γ 星，周围有星云气

# 第四十八章

# 星的直径、质量与亮度

**星的直径**　我们说过有许多方法可以研究星的性质。我们在这一章把从这些方法所得的研究结果加以综合的叙述。对分光双星的交食变星的研究，可以算出星的直径，但是这必须在这种特殊双星的情况下，而不能适用于一般的单颗星。还有另外两个方法可以测定星的直径。

假使星的直径大于望远镜的分辨极限值，我们便可直接观测星的圆轮，但是实验证明，因星光的波动而造成的衍射圈远远超过星的直径。1868 年，费索建议的一种方法使这种观测不但成为可能而且可靠。现在我们叙述一下这种方法所依据的原则。在大望远镜的物镜前面放上一个硬纸制的光阑，阑上有两个距离尽量远的圆孔（图 660），用这样的装置去观测星，则无光阑的望远镜所产生的固定的、差不多是一点的衍射星象，在此便成了一个比较大些的圆轮，上面有许多明暗相间的、很紧密的条纹。如果我们掩盖上一个圆孔，这种条纹便看不见了。这是由于光的波动性质而来的干涉现象，干涉条纹间的距离随

物镜前面两个圆孔之间的距离成反比而变化。设想我们用这样的装置去观测一对双星，每一颗星都有一系列的干涉条纹，如果改变两个圆孔间的距离和位置，我们就可以使两个系列的条纹明暗互相重叠，彼此抵消，以致没有明暗之分。只需测量圆孔的距离和位置，便可计算出双星的方位角和距离。这方法可用于没有光阑的望远镜所分不开的密近双星，而且也别无其他方法能研究这类双星。为了争取更多的星光，实际上，我们不用圆孔而用垂直于圆孔中心的连接线的两个一样宽的光缝。这样的改变并不影响干涉现象的性质。图 660 表示两种光阑和相当的干涉条纹。如果一颗星有相当长的直径，它的两边沿的干涉条纹可以互相抵消而没有明暗的区别。斯忒藩(Stephan)于 1874 年用马赛天文台 80 厘米口径的望远镜去测星的直径，求得天狼星的直径应小于 0″.16。

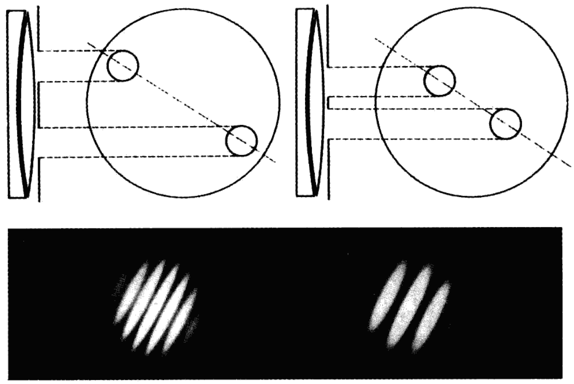


**图 660 由两个光阑孔而得的衍射条纹**

两颗星纠缠在一起的时候，一系列的白色条纹和另一系列的黑色条纹互相重合，于是衍射条纹消逝不见。

麦克尔逊改良了这种干涉仪，他在威尔逊山的 2.50 米口径的望远镜上装上一条横梁，使两条光缝之间的距离可以相隔至 7 米之远(图 661)。由于使用这样的装置，他成功地测得几颗星的直径。最长的直径属于刍藁增二(即鲸鱼 o 星)，是 0″.047，比斯忒藩所规定的下限还小得多。

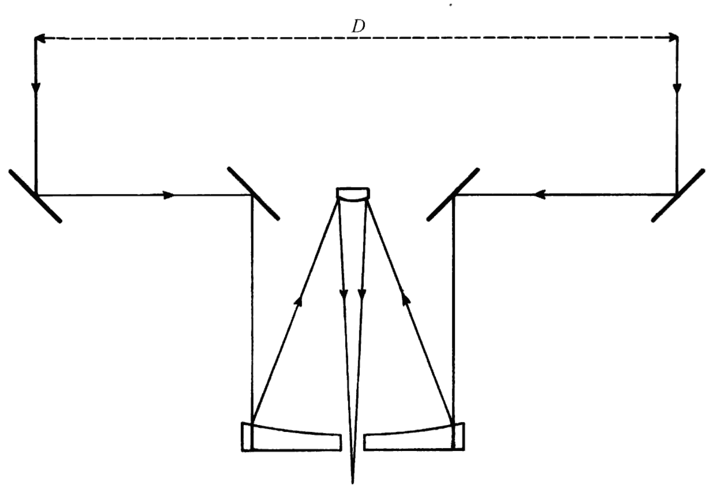



**图 661 麦克逊用来测量恒星直径装置的示意图**

下表登载了麦克尔逊测量的结果，星的直径是以太阳的直径为单位来表示的。这些直径都很大，这是当然的，因为只有

对于这些很大的星，才能使用这个方法求得结果。这些星都是巨星或超巨星。参宿四(猎户 α)的直径是变化的。

| 星名 | 光谱 | 视直径 | 视差 | | 真直径 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 三角法 | 光谱法 | |
| 牧夫 α | K0 | 0″.020 | 0″.092±6 | 0″.120 | 23 |
| 金牛 α | K5 | 0″.020 | 0″.059±6 | 0″.074 | 36 |
| 猎户 α | cM0 | 0″.047<br>0″.034 | 0″.012±3 | 0″.012 | 420<br>300 |
| 飞马 β | M5 | 0″.021 | 0″.020±4 | 0″.025 | 110 |
| 武仙 α | cM8 | 0″.030 | 0″.004±4 | 0″.009 | 800 |
| 鲸鱼 o | cM7 | 0″.047 | 0″.013±5 | — | 390 |
| 天蝎 α | cM0 | 0″.040 | 0″.015±4 | 0″.010 | 280 |

对于一般的星，我们只能使用从辐射定律推得的一个很间接的方法。一个完全辐射体所发出的总能量和辐射的表面积与温度的四次方成正比。如果我们知道星的辐射量和温度，我们便可推出星的表面积，因而求得星的直径。为了要完成这一计算，我们应该知道相当于星的总辐射量的星等、距离与温度。有许多星的这些数据是知道的，这样计算的星球的直径，既多而又可靠。

由这种方法所求得的结果，和直接测量的结果，特别是与交食双星直接测量的结果，都很相合。

这样得来的结果是很有趣的，它可以说明，星可分为矮星、巨星和超巨星三大类。

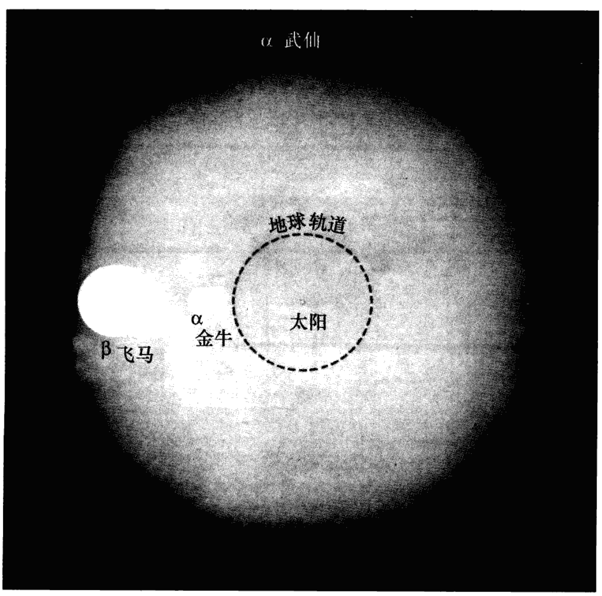



图 662　恒星的大小和太阳系大小的比较图

主星序内的星叫做矮星，有着各种光谱型，其直径和太阳的直径同数量级。巨星的光谱是由 F 型到 M 型，比矮星体积显然大些，所发出的辐射也丰富得多。巨星的数目少得多。还有很少数的超巨星，更明亮，也具有各种光谱型。麦克逊所测量的星都是巨星(如金牛 α 和牧夫 α)，特别是超巨星(上表中其余五颗)。超巨星的直径真是大得惊人，甚至火星的和小行星的轨道都可容纳在一颗超巨星(如武

仙 α)(图 662)的范围里。

**星的直径(以太阳的直径为单位)**

| 光谱型 | 主星序矮星 | 巨星 | 超巨星 |
|---|---|---|---|
| B0 | 8 | | 30 |
| A0 | | 2.27 | |
| F0 | 1.40 | 4.2 | 50 |
| G0 | 1.05 | 8.6 | |
| K0 | 0.71 | 15 | |
| M0 | 0.5 | 42 | 300 |

当我们知道同一光谱型内有各样的星(通常星和特别明亮的星)时,我们就可以确定,星有矮星和巨星的区别。由此可见,这样亮度上的差异,是由于星的直径有大小的差异所造成的。

**星的质量**　我们所求得的星球的质量,可靠的、唯一的资料的来源,是有关双星的研究。星的质量虽各有不同,但差别却不很大。现在知道质量最大的星是一对暗星,在 HD 星表内的号数是 47129;它的两个成员的质量各超过太阳质量的 76 倍和 63 倍。质量最小的星是克鲁格 60(Krueger),仅有太阳质量的 1/5。至于特朗普勒(Trumpler)利用恒星谱线的红端位移,借爱因斯坦的理论所算出的很大的质量不很可靠,对于上述的两对双星的质量均不相符。

在星的质量和亮度之间有一个很有趣的关系:亮度小的星质量小,亮度大的星质量大。这叫做质光关系。哈耳姆(Halm)于 1908 年首先找到这个关系。我们在这里复制柯伊伯对于这种关系所作的一幅图(图 663)。

这个定律有相当的精确性,只有三颗星是属于例外的。这三颗星质量过大而光度过小,它们组成一类很奇特的星,名叫白矮星,这在后面还要讨论到。在我们的图上,以小方形代表它们的位置。

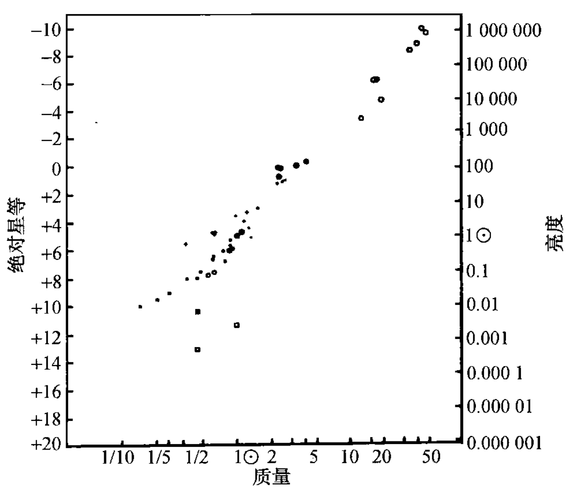



**图 663　恒星的质光关系**

质量少的星不亮,质量多的星很亮。有太阳质量的 1/10 的星,比太阳要暗 100 倍;有太阳质量的 50 倍的星等于 100 万个太阳那样明亮。只有三颗白矮星(图中以小正方表示)不遵循这个规律。

这个由双星得来的关系也可用于单颗星，但必须加以解释。英国天体物理学家爱丁顿(Eddington)从单颗星的平衡情形的角度加以计算，根据理论满意地说明了这个关系。所以现在大家都承认，这个关系对于所有的星均属有效。可是现在的测量结果表明，有一些星，特别是近距双星，并不恰好在爱丁顿的曲线上。甚至太阳也不正好位于这条曲线上，对于它的质量而言，太阳是太亮了一点。不过，在还没有更好的结果的时候，我们应该对这样的近似值感到满意。

**星的密度和重力** 既知星的半径和质量，使用简单的计算，便可求得星的平均密度和表面重力。而且由于交食双星的研究，也可直接求得星的密度。下表中的数字均以太阳为单位而计算的。

| | 平均密度 | | | 表面重力 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 光谱 | 矮星 | 巨星 | 超巨星 | 矮星 | 巨星 | 超巨星 |
| B0 | 0.03 | | 0.001 | 0.22 | | 0.028 |
| A0 | 0.24 | 0.55 | | | | |
| F0 | 0.52 | 0.035 | 0.000 08 | 0.71 | 0.14 | 0.004 |
| G0 | 0.80 | 0.004 | | 0.85 | 0.034 | |
| K0 | 1.64 | 0.000 74 | | 1.18 | 0.011 | |
| M0 | 2.5 | 0.000 033 | 0.000 000 18 | 1.2 | 0.001 5 | 0.000 053 |

主星序内矮星的密度很接近于太阳的密度，太阳的密度比水的密度稍大一点，所以矮星的密度和水相近，在水的密度的 1/20(B 型星)到 4 倍(M 型星)之间。注意这里所指的是平均密度，发光的表面层的密度，当然是小得多。

巨星的密度比太阳小得多，这是不足为奇的，因为这些星的质量并不比太阳大，而体积却大 100 倍乃至 10 万倍。巨星的平均密度可和地上气体的密度相比拟。

超巨星的密度还要小。例如，参宿四那样的星的密度只有水的密度的千万分之一，这等于一个器皿内抽空至 0.2 毫米汞柱压力时的密度。所以星的发光层的密度，可以和实验室所能抽得最好的真空管里的密度相比拟。

由上表中可见，星球表面的重力或重力加速度变化很大。只有在红矮星和白矮星的情形下，它才超过太阳表面的重力。对于超巨星而言，它比太阳的情形小得多。

在密度和重力这样不同的环境里所发射或者吸收的光线，显然是会带着它所生成的环境的标志的。矮星、巨星和超巨星光谱里的差异是很多的，这些差异都是由于在矮星的大气较密的环境里比在巨星和超巨星的稀薄大气里的粒子(如原子、离子和电子)要丰富得多。

事实上，这些差异并不如我们所预料的那样大。

1. 在相同的温度下，矮星的光谱型比巨星的光谱型更晚一些。但是这个特性不很显

著，必须对温度加以精密地测量以后，才能表现出来。

2. 有些谱线的强度随大气的密度而变化。例如锶(Sr)的 4 215Å 那条谱线，在巨星比在矮星强得多；别的谱线表现得就正相反，例如中性钙的 4 454Å 那条谱线。图 664 表示相同光谱型的两颗星的光谱。根据氢的谱线、CH 分子的以及一些金属的谱线，这两个光谱同列为 G0。图内以一点标出的那条谱线在仙后 η 星比在 HR8752 星要强得多。这是铁的 4 325Å 谱线，它很容易受恒星大气里电子压力的影响。在像仙后 η 那样的矮星的光谱里，这条谱线很强；对于像 HR8752 那样的巨星，它就很弱。这个特性使我们可以测定星的绝对星等，因而可以求得星的距离。

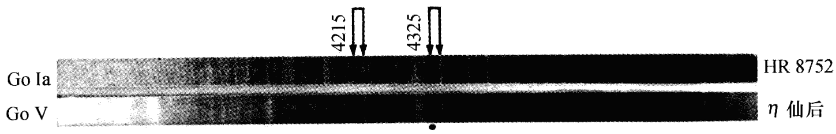



**图 664　两颗光谱型相同、明亮度不同的星的光谱**

一颗星是 HR8752，谱型 G0，光度型 Ia，属超巨星；另一颗是仙后 η 星，谱型 G0，光度型 V，属主星序。注意这两个光谱中有很大的差异，超巨星的谱线比较细，数目很多。谱线的强度的比例也很不同。用双联箭头所表出的两对谱线用以测定星的自身亮度(光谱是负像)。

3. 第三种特性更显明：主星序内的星的吸收谱线比巨星，特别是比超巨星的谱线宽得多。这效应的解释是这样的：在矮星的大气里有很多电子，造成一种很强的电场，影响了吸光的原子(斯塔克效应)。图 665 表示三颗星的光谱，这三颗星是超巨星天鹅 α(天津四)、主序星天琴 α(织女)和白矮星波江 40B。这三个光谱表现得很明显：当我们由很稀薄的超巨星到很密集的白矮星时，氢的谱线有显著的变宽。而且巴耳末系谱线的数目同时也减少了。很遗憾，不但是这个效应能使谱线变宽，有许多巨星的谱线都很宽而且模糊，所以这种现象不能用做判别的标准。

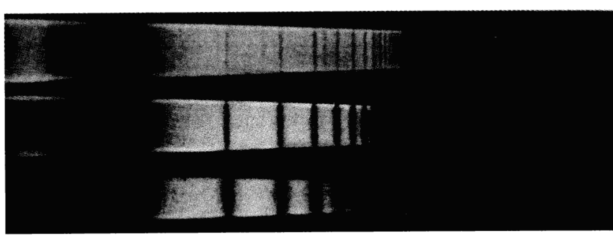


**图 665　紫外光谱表现出因星的亮度使光谱发生的重要变化**

这三颗星是天鹅 α(超巨星)，天琴 α(常态星)，波江 40B(白矮星)。这些光谱表现三种效果：星的半径愈小，谱线变得愈宽；氢的谱线逐渐减少。在我们的图片上，天鹅 α 有 14 条或 15 条，天琴 α 有 11 条或 12 条，白矮星波江 40B 只有 6 条或 7 条；对于白矮星来说，光谱在紫外区最强。

**星的自转**　当一颗星绕着自身的轴旋转的时候，我们可以同时观测到，星向我们转的一边和星的中心，以及星离开我们转的一边等三处所发出的谱线。多普勒效应使前一系谱线向紫端移动，后一系谱线向红端移动(图 666)。如果谱线本身是纤细的，我们便观测到，这些移动的谱线混在一起，成了一条宽线。自转的效应使星所有的谱线都一致变宽，

但是因电场而来的谱线变宽(斯塔克效应)仅属于一些特殊的谱线。因为在谱线变宽的现象上有这样的差别,所以我们可以分辨这两种不同的效应,而且可用它去测定星球自转的周期。我们说过,在交食双星上已经观测到这样的自转。恒星自转的速度随不同的星很有差别。自转最快的星是河鼓二(天鹰 α,即牵牛),速度为 260 千米/秒,谱线很宽。现在我们叙述恒星自转的几个特性:超巨星和巨星的自转速度很小;主星序里热星(O 至 F 型)一般旋转很快;晚型星(G 至 M)自转缓慢,甚至不转。

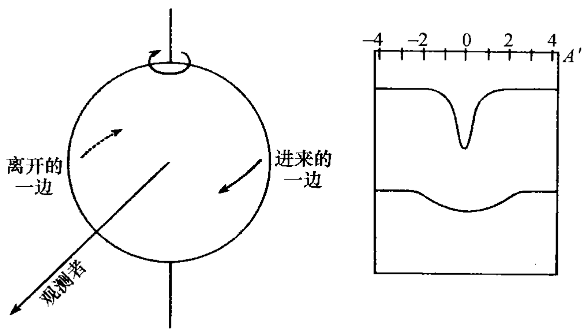



**图 666 恒星自转使谱线变宽**

向我们转来的一边,谱线向紫端移动,离我们而去的一边,谱线向红端移动;在中心处谱线不动。谱线轮廓在常态下如图中上曲线;但因恒星自转的缘故,整个星球的光使谱线变宽,如图中下曲线的形态。

我们知道,人们常用地球的自转去解释它的磁场。我们预料,自转快的星有强的磁场。对于太阳来说,普遍磁场一定很小,现今测得的数值还不可靠。星球的磁场可以由塞曼效应,即由谱线分解为数条的现象表现出来。

巴布科克(Babcock)在威尔逊山对一颗自转迅速 A2p 型的星(室女 78)测得它有强的磁场,数值是 1 500 高斯,比地球的磁场要强 2 500 倍。但是自从巴布科克测得另外一颗 A0p 型星 BD—18°3789 的磁场以后,便对自转和磁场的关系产生了怀疑,因为这颗星的磁场可由+7 000 变至−6 000 高斯,中间经过零点(即没有磁性),周期为 9.295 日。也许太阳的磁场也有同样的变化,不过变幅很微,周期为 23 年。

**白矮星** 我们谈到天狼星的伴星时,曾经说过它是一颗很有趣的星。很久以来,人们都把它当做是一颗寻常的星。天狼 B 比天狼 A 星等多 10,因而是暗了 1 万倍。天狼 B 的质量和太阳的质量相近,如果它是一颗通常的星,它的直径也该和太阳的直径相近。在这些假设之下,它的弱小的亮度只好解释为它的温度很低,光谱是 M 型,颜色是红的。可是亚当斯(Adams)于 1917 年拍摄了它的光谱,发现天狼伴星是 A7 型星,它的颜色是白的,而不是红的,为了解释这颗星暗弱的亮度,不能不说是它的直径很短。根据计算,天狼 B 的直径应等于太阳直径的 2%,或者仅有地球直径的 5 倍。

因此,天狼 B 的体积是异常的小,只有太阳体积的 8/1 000 000,可是它的质量和太阳

相近，因而它的密度达到 17 万。天狼 B 每一立方厘米的物质竟有 170 千克之多！

很久以来，天文学家对于这个数字总是怀疑，认为是观测或者计算上有误差。其实不是这样的。下面两件事实证明了这异常的密度：

(1) 天狼 B 星的谱线很模糊，正是很密的星应有的情况。

(2) 谱线遵循爱因斯坦效应向红端移位，而且根据位移的值证明了所假定的直径。

天狼 B 是最有名的但不是唯一的白矮星。我们已知 20 颗双星的伴星是白矮星，还有 80 个单颗星也是白矮星〔据 1961 年统计，经人发现的白矮星约有 500 多颗，其中 200 多颗是苏联比尤拉坎天文台发现的，而且其中的 100 多颗形成星团。——译者注〕。这些星的光谱都很模糊，视差都很大，这是我们能够观测到它们的必需条件。这些星的密度都可以测定。有些白矮星的密度达 100 万，即一立方厘米内有物质 10 万千克。只有近代物理的理论才能解释物质有这种特殊情况。

在通常的星体里，原子周围有几圈电子。如果我们将物质压缩，便会达到这样的一个境界，即使得原子互相接触在它们的电子层上，于是，密度不能再大，物质好像是成了不可压缩的固体。

每个原子的构造都是这样的：中心是一粒很小的核，周围有远离核心的电子圈；如果把原子核比拟做一粒小弹丸，在这样的尺度下，寻常原子的直径当有两千米之长。在白矮星的情形下，原子失掉了周围的电子圈，没有东西阻挡原子核互相接近。这便是白矮星里的情况。根据理论来说，如果使原子核互相接触，我们还可得到比白矮星的密度大几亿倍的密度。于是我们得到这样惊人的结论：以原子的大小而论，白矮星的原

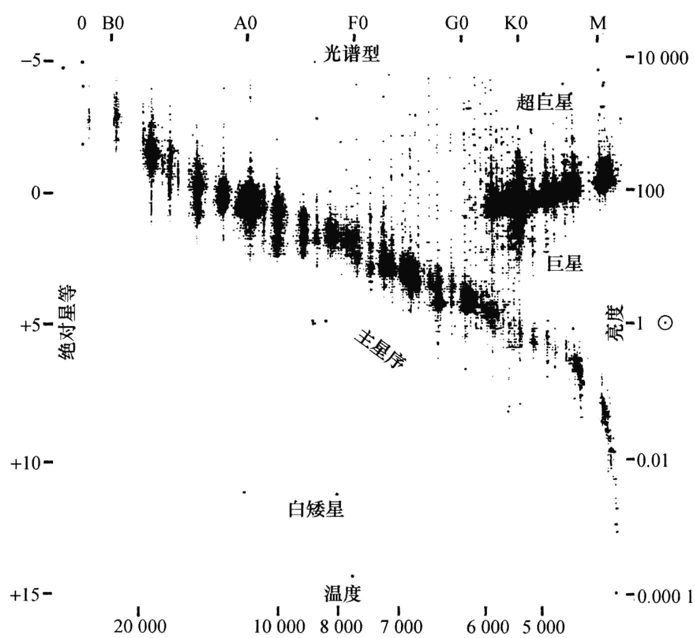



图 667　据已知距离的星所作的赫罗图

这些星都在太阳附近，属星族Ⅰ。

子核还是相隔得很远，它们的行动还是像气体的分子一般。

**赫罗图** 我们还必须大致介绍一下表现恒星有各种类型的一张图。这张图是赫兹普龙(Hertzsprung)和罗素(Russell)首先绘出的。

在一页纸上，水平方向表示星的光谱型O、B、A、F、G、K、M，垂直方向表示绝对星等。每颗星以它的光谱型和绝对星等在纸上就能有一个代表它的点。将所有已知这两个量的星都表示在这张纸上，我们就能得到如图667的图〔这是吉伦伯路(Gyllenberg)所绘的〕。我们看到，图中不是到处都有黑点，这些点只分布在两条直线附近，形成两群。第一条线在图的对角线上，其中的星是通常的矮星，数目很多。第二条线稍微高一些，其中的星只有G5到M型，它们的绝对星等都在零的附近，即这些星比太阳要亮100倍。这一支内也有不少的星，它们都是巨星。

还有少数的星，位置散布在图中很高的地方，这些很明亮的星叫做超巨星。最后，在图的左下方，还有几颗白矮星，形成一个数量少的集团。这图上的点弥散得相当厉害，特别是由于绝对星等测量上有误差。测定绝对星等必须测量距离，而距离的测量通常是不精确的，因此使这些点的位置在高度上不能确定。我们如果将一个银河星团内所有的星都描在赫罗图上，便可避免上面所说的那种误差，因为对于星团，我们可以视星等来代表绝对星等。这样的图曾经由伯尔(Behr)对昴星团作出过(图668)。我

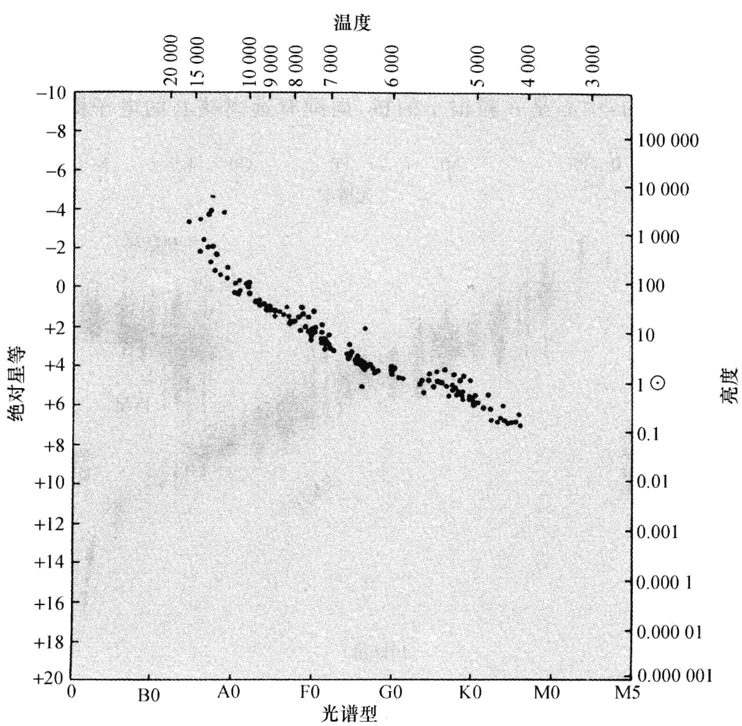



图668 昴宿星的赫罗图

将这幅图和图667比较。注意图中没有巨星和超巨星，图中的点弥散不大。对于一个星团而言，赫罗图表示一个确定的关系。

们察觉，这里完全没有巨星，这是星团的一个特性。一般说来，巨星是相当稀少的。吉伦伯格的图是把所有已知两种数据的星都描绘进去了的。可是根据我们对于亮星的知识，在空间里巨星比矮星可见的范围要大得多。据估计，对于巨星所达到的范围比对于矮星所达到的远 1 000 倍，所以在吉伦伯格所绘的赫罗图里，只有在巨星的一支内的 1 000 个点当做矮星的一个点，才能表现巨星和矮星的数目的正确比例。

**太阳的近邻星**　研究太阳附近的星，应该在星的数目和各种类型的分配上得到一个良好的概念。

因为我们基本上知道一切亮星的视差，因此就很容易作出一张近距离而且明亮的星的表。暗星的探寻比较困难。15 等的星有几千万之多，我们怎样才会辨认出哪一颗是近而暗的，不是远而明的呢？我们对于近距离而不明亮的星，认识得还很不完全。

天文学家曾经作出几个近邻星表。柯伊伯于 1942 年所作的星表有星 256 颗，距离在 10.5 秒差距以内。范·德·康(Van de Kamp)于 1945 年所作的星表只有 39 颗星，范围在 5 秒差距之内。这两张表发表以后又发现了几颗星，必须加进去。

研究柯伊伯以及丹戎和库德尔所搜集的资料，对于比太阳亮的星来说，那张近邻星表可以说是完全的；可是对于比太阳暗的星来说，那就很不完全，比绝对星等 15 更暗的星，基本上还是知道得太少了。

所以我们很难明白各类型的星的分配。暂且先谈一谈已经确定的结果吧。在 10 秒差距内，只有一颗巨星——双子 β 星(北河三)，但在太阳附近没有一颗超巨星。所有的星不是属于主星序，便是属于白矮星，其中以暗星为最多。20 世纪 30 年代，我们以为绝对星等为 7.5 的星最多，现在我们知道，这数字的界限当在 15 以下了。

为了比较全面的叙述，我们暂时只讨论 4 秒差距以内的星，总共有 39 颗，分布如下：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 13 颗单星 | | 13 星 | |
| 12 颗聚星 | 10 双星 | 20 星 | 26 星 |
| | 2 三联星 | 6 星 | |
| 25 组 | | 39 星 | |

这些星的平均距离是 2 秒差距或 6.5 光年。聚星和单星的数目相等，即两颗星之中有一颗是聚星，聚星中星的数目是单颗星数目的两倍。这 39 颗星的质量可以估计为太阳的质量的 16 倍，其中亮星虽少，而所占的质量的分量却大。按照质光关系，这些亮星具有很大的质量。

把这些星的密度和由别的来源而得的星的密度加以比较，我们可以对所缺少的星有

一个概念。

根据计算，16 个太阳的质量分布在这样的一个空间里，仅等于银河星系密度的 7/10。所缺少的 3/10，即 5 个太阳的质量，可能分配在星际物质和恒星上。我们现在还不很了解物质弥散在空间里的密度，但是，假如这似乎缺少了的 5 个太阳的质量全部属于恒星，我们对于星的数目总该产生一个上限的概念。假如所缺少的星，亮度是在 15～20 星等之间，那就该有 130 颗星。如果这质量是均匀地分布，一直到 30 星等为止，那么这数目便该是：15～20 等的有 45 颗星，20～25 等的有 135 颗星，25～30 等的有 490 颗星。

这当然是一个任意的向外推测。它只是在不与已知空间的密度发生矛盾的条件下，使我们对于暗星的数目，有一点概念罢了。

在 100 颗近邻星之中有 8 颗是白矮星。这比例已经算相当大了，可是比起实际情况还是很小，因为这些星是不容易发现的。它们全都有很多的物质，这些物质常在简并态〔简并旧译退化。因恒星内部电离度虽很大，但气体仍然保持理想气体的性质，密度到($10^2$～$10^3$)克/厘米$^3$还遵循玻意耳定律。当密度更大时，首先开始电子气的退化，然后[密度大于($10^5$～$10^6$)克/厘米$^3$时]开始重质点的退化。在电子和重质点都退化的情况下，电子气的压力为重质点压力的 1840 倍。——译者注〕下，如同在白矮星里的状态一般。

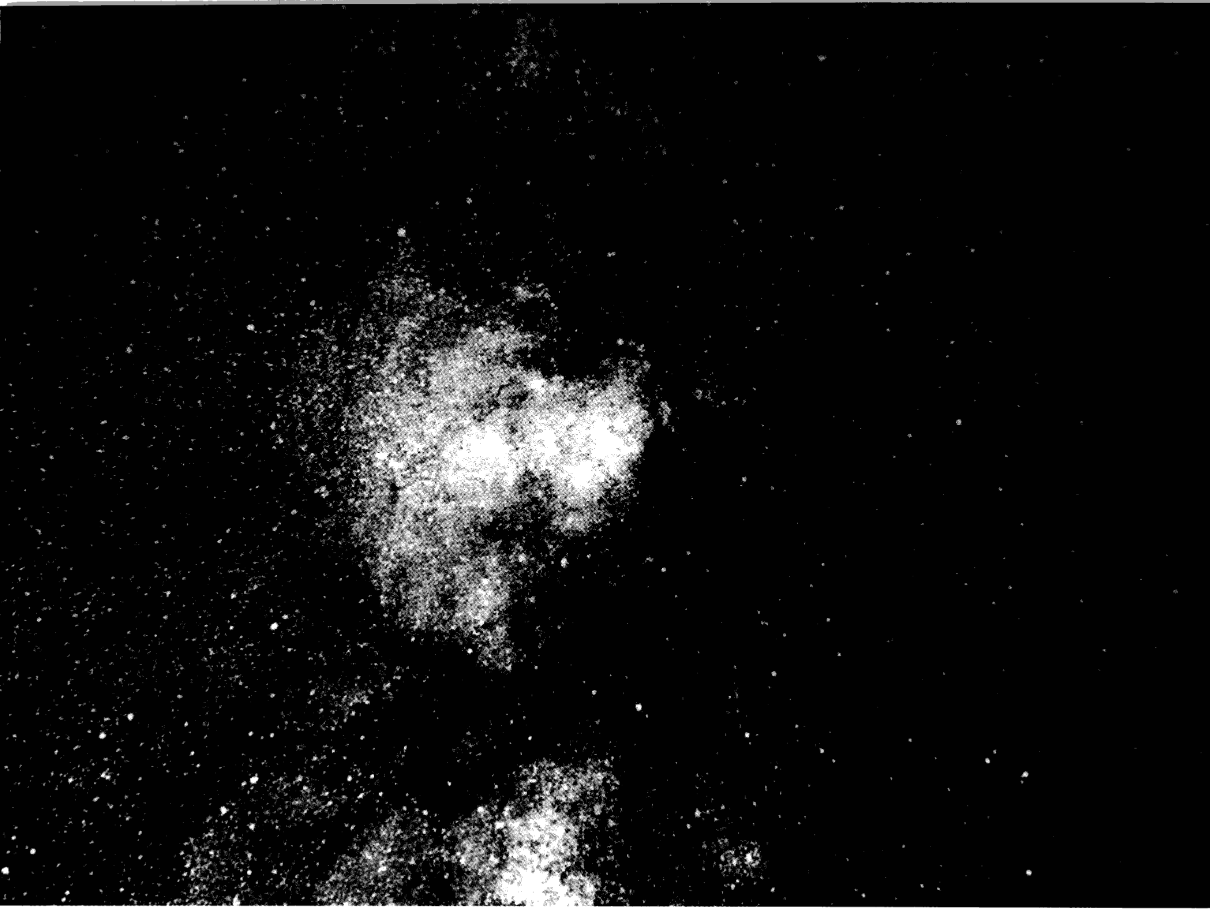


图 669 盾牌座里巨大的银河恒星云

# 第四十九章

# 变　星

有些星的光亮不是恒定的，我们知道有许多星的星等，变化都相当大。

除了新星，我们最先知道的一颗变星是在鲸鱼座内，以“鲸鱼怪星”得名。1596 年，法布里休斯(Fabricius)发现这颗 3 等星是当时星图上所没有的。1603 年，巴耶(Bayer)不知道法布里休斯的观测，把这颗星叫做鲸鱼 o 星(中名芻藁增二)。这以后约 40 年，即在 1638 年，霍耳瓦达(Holwarda)才认识到，这颗星光度的变化是有周期性的。以后我们还

要研究这颗有趣的星。

第二颗变星是英仙β(Algol,中名大陵五),它的光亮有变化,也许阿拉伯人早已知道了。原来Al Guhl这个词在阿拉伯文里的意思就是“变化的精灵”。和刍藁增二相反,大陵五的变化是很有规则的。我们已经说过,这是一颗交食双星。这不是一颗本身的亮度在变化的星,而是两颗在互相掩蔽的星系。我们已经研究过这类变星,在此就不重复了。当然,一切关于研究变星的方法,对于这类变星也是用得上的。

初期的发现以后,发现变星的数目逐渐增加,起初增加缓慢,以后便愈来愈快,如1686年基尔希(Kirch)发现天鹅χ星以及1704年马拉迪(Maraldi)发现长蛇R星等。

下表内的数字没有包括恒星云、星团和星云里的变星,如果把它们一并计算进去,已知变星的总数当在两万以上。

主要的变星表

| 年代 | 作者 | 变星数 |
|---|---|---|
| 1786 | 皮戈特(Pigott) | 12 |
| 1844 | 阿格兰德(Argelander) | 18 |
| 1866 | 舍费尔德(Schoenfeld) | 119 |
| 1896 | 钱德勒(Chandler) | 393 |
| 1907 | 坎农(Cannon) | 1 425 |
| 1920 | 密勒尔与哈特维克(Muller et Hartwig) | 2 054 |
| 1930 | 普腊格尔(Prager) | 4 611 |
| 1936 | 普腊格尔 | 6 776 |
| 1941 | 舍内勒尔(Schneller) | 8 445 |
| 1948 | 库卡金与巴联拉果(Kukarkin et Parenago) | 10 912 |

要为这样多的星命名是困难的,最可靠的办法当然是用它们的坐标——赤经和赤纬——来标志它们,但是我们还保留一种传统的命名法。恒星经人发现为变星,而且不像英仙β、天鹅χ之类已有名称的,便在其所属的星座名字前面加上一两个大写字母。天鹅座内第一颗变星叫RCyg,第二颗S,其次T,一直用完所有的字母;Z以后便是RR Cyg,RS…RZ,跟着有SS…SZ。将这些双字母用完,也只排列了334颗星。再以后的变星便记为V335Cyg。现在已经到了V460。再将χCyg和几个新星加上,迄至1948年,天鹅座内已有变星464颗。

我们说过,这种复杂的命名法促使天文学家去划清星座的界限。这种命名法,既不方便,又很奇怪,使人联想到城市里的房屋需附以街名和号数一样。

**变星的寻找**　照相术发现以前，变星的发现纯属偶然。现在整个天空都已经过拍照，我们所发现的变星很多。

最大的困难便是在照片上辨认出哪些星是变星。如果星光变得很快，一张多次露光的照片（如制天图星表所拍的照片），立刻便可辨认出变星来。如果光变缓慢，便立该将不同时期的照片拿来比较。帮助作这样比较的仪器叫做闪视镜（图 670）。由于一种机械的和光学的特殊装置，观测者在同一目镜里可以反复地看见两张照片。这种反复的观看，每秒钟应有几次。因为一颗变星在两张照片上直径不同，在这样情形之下，就显得时胀时缩，在肉眼里闪烁跳跃，但光亮恒定的星就不可能有这样的现象从而引起观测者的注意。

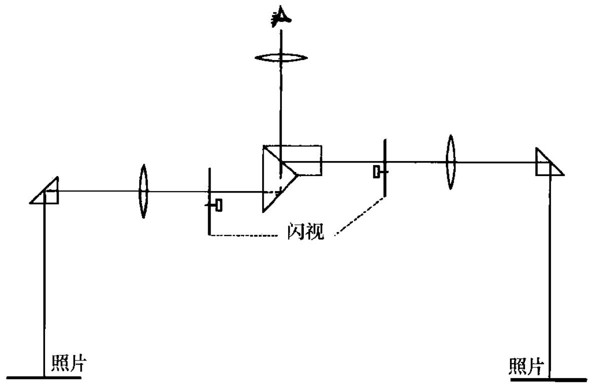



图 670　**寻找变星用的闪视镜**

借两个同步的旋转轮，观测者轮换地看同一星区的两张照片。如果一颗星的光度有变化，此星便在观测者眼里跳跃。

国际天文协会经常发表包括所有变星的星表。这项工作现在委托给苏联办理，最新的变星星表有 528 页，包含有 20 448 颗变星的数据〔1958 年出版的变星星表，正文 700 页，包含 14 711 颗变星的数据。——译者注〕：计有极大和极小星等、变星型、周期、极大和极小时期、光谱型等。

变星的精密研究需要许多精密的光度测量，上面所说过的测量星等的方法，可以立刻使用到变星上去。一般是将变星的光度和它附近的星的光度加以比较。在这广大的研究领域里，特别是对大变幅和长周期的变星，天文爱好者是大有可为的。现在世界上有许多业余变星观测学会，例如在法国就有这样一个组织。这些学会所取得的成就是很大的。在此，我们特为天文爱好者叙述各种目视估计的方法。阿格兰德的方法是将要研究的星和两颗光亮相近、光度不变的星加以比较。变星观测学会发表的星图，使人容易在它上面找出变星和比较星。我们在这里复制出关于仙王 δ（图 671）和鲸鱼怪星（图 682）的两幅星图。

研究某些变星，如交食变星和造父变星，需要高度精密的测量，便需很精密的仪器，今天都用光电管和自动记录的设备去作记录。

按照光变的性质和原因，变星可以分为几类。下面是主要的类型和它们的百分比：

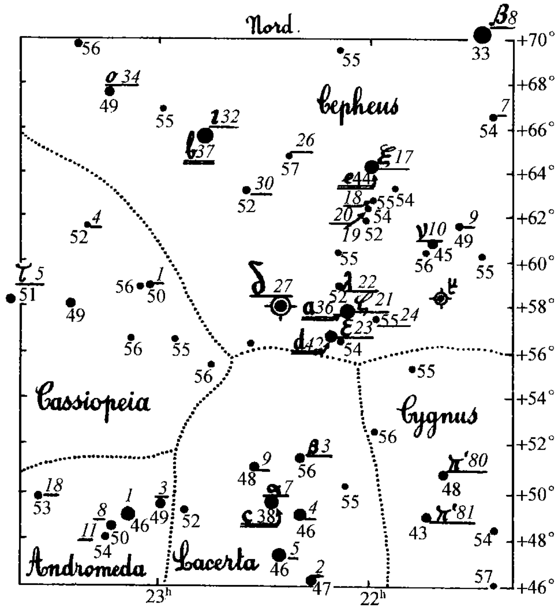



图 671 法国变星学会所制的变星图，表示仙王 δ 星在天上的位置以及它周围的比较星

1. 规则变星：

A. 交食变星(已经研究) …… 22%

B. 脉动变星(直径按周期变化) ……………………………… 23%

C. 长周期变星 ……………… 44%

2. 不规则变星 ………………… 9%

3. 新星或超新星 ………… 1.3%

表中的比例是按现象划分的。在这个统计里，亮星占了便宜，例如明亮的新星实际上没有 1%，别的亮度小的变星实际更要多些。

在天上某些特殊区域里，某种变星特别丰富，例如在银河中心或球状星团里，某类脉动变星特别多。

**脉动星或造父变星** 这类变星以仙王 δ 星(造父一)为典型而得名。这是一颗肉眼能够看见的亮星。图 671 表示它在天上的位置。

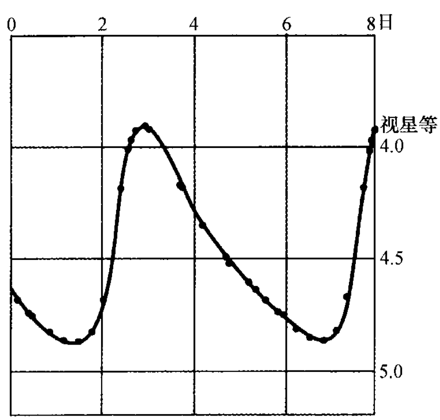



图 672 仙王 δ 星的光变曲线

这是古特尼克(Guthnick)使用光电光度计求得的。这条曲线很有规则，无限地重复出现。星等的尺度是使上边亮而下边暗。

这颗星的变化自 18 世纪末便经人发现。古德里克(Goodricke)和皮古特于 1784—1785 年间便观测了这颗变星。这颗星的光变情形是这样的：极亮时星等达 3.78，继后慢慢变暗，约 4 日暗了一半，达 4.63 星等；这以后又变亮，但上升比下降时快得多，在 1 日零 8 小时后，便重新达到极大星等 3.78 (图 672)。

这颗亮星的光变曲线曾经被许多观测者测定。我们在这里发表的是由光电观测所决定的最好的曲线。图中缓慢的下降和快速的上升是很明显的，曲线很有规则，有些观测者在这条曲线上看出一些起伏情况，但事实上并不存在。

光变周期的确数是 5.366 306 日，自有观测到今天，周期稍微变短了一点。这样的变短虽然是真实的，但自最初的观测到现在，才短了 13 秒钟。

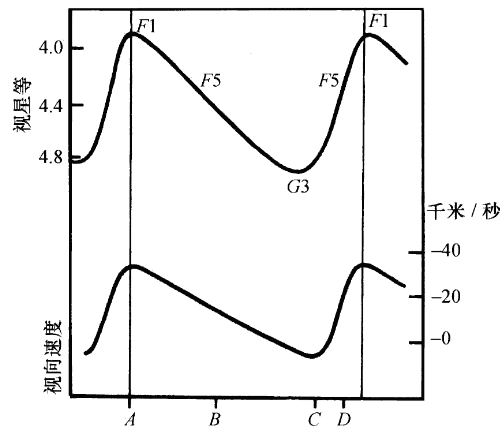



图 673　仙王 δ 星的光变曲线和速变曲线

极大星等没有变化。这是一颗远星，视差难于确定。它的距离的数量级是 200 秒差距。绝对星等显然是小于 0，也许是 −1.5，因此被列为超巨星。光谱随星等同时变化，由极大时 F1 型变至极小时 G3；同时温度也变化了 1 600℃，极亮时温度较高。

这两个现象使我们想到，光度的周期变化是由亮度的变化而来，但是事实上却更复杂，因为由观测表示视向速度是变化的，而且视向速度的变化曲线和光变曲线有奇特的相似。最大的接近速度（负的视向速度）和最大光度同时发生，最大的远离速度（正的视向速度）和最小光度也同时发生（图 673）。

这样的变化说明，这颗星可能是交食双星，但是交食的极小光度应发生在视向速度经过平均值的时候，然而刚才说过，事实上却不是这样的。纵然不管这个矛盾，我们把它作为分光双星去计算它的轨道，结果却很奇特：伴星的轨道的长半径比主星的半径还要短些。

解释这类变星的光变理论，最满意的当是脉动理论。仙王 δ 便是一颗半径在变化的星。它的平均半径是 4 500 万千米，是太阳半径的 60 倍，所以是巨星或超巨星。这半径变化很大，最大时比最小时长 1 000 万千米（图 674）。这些数字不难由视向速度曲线推得。

阶段 A　0 日　极大亮度（膨胀速度极大，半径中等，温度极高）

阶段 B　2 日　中等亮度（膨胀速度为 0，半径最大，温度中等）

阶段 C　4 日　极小亮度（收缩速度极大，半径中等，温度极低）

阶段 D　4.7 日　中等亮度（膨胀速度为 0，半径最小，温度中等）

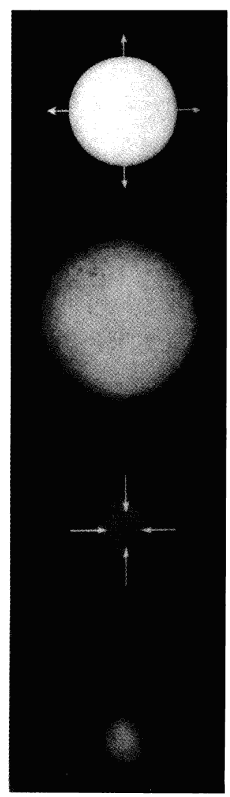


图 674　造父变星各脉动阶段的示意图

把这些观测到的结果表示为图形（图

674)，可见，亮度的变化主要是由于温度的变化。星因收缩而变热，正如打火机内的空气因压缩而发热一般。但是因热的传播需要时间，最高温度不是发生在压缩终了，而是发生在膨胀开始以后的一会儿。这种大气团的热平衡，曾经被英国天体物理学家金斯(Jeans)加以理论的计算。结果和观测相当符合，可是这理论还没有达到完善的境界。

这是一种自己调节的振动，它的周期和星的物理常数、半径、质量等有关。我们说过，这些数据有相互的关系，所以只要有一个数据，例如亮度，便足以定出周期。造父变星的脉动周期和它的亮度有关，犹如摆的振动周期和摆长有关一样。1912 年，这关系经勒维特(Leavitt)研究小麦哲伦云内的 25 颗造父变星(图 675)而得到证明。这是我们近邻的河外星云，可能和我们的银河星系有些联系。勒维特证明，造父变星的周期和视星等有一个很显著的关系：愈明亮的星周期愈长。这种重要的关系，以后还要由这星云内的另外 320 颗造父变星的研究得到进一步的证明。这星云的范围与它和我们之间的距离相比是很小的，所以它里面的星的绝对星等和视星等只差一个常数，因此周期和绝对星等是有关系的(图 677)。

我们说过，已发现的造父变星很多，周期在 1 日和 50 日之间的有 500 颗。这些星的光变曲线都很有规则，而且对于其中的大多数，可以重复不断地测出同样的曲线。虽然在表面上看来，脉动星有这些共同性，可是还是应该分为不同的几类。根据周期对造父变星加以统计，有两个显著的极大：周期在 0.4 日至 0.6 日之间的有 253 颗星，周期在 3 日至 60 日之间的有 87 颗星。后一群称为真正的造父变星，前一群属天琴 RR 型的变星，因为前者在球状星团里特别多，所以以前也被叫做星团变星。根据最近的研究表明，这两类造父变星实际上有很大的区别，不是像前人所想象的那样。

经典的造父变星是超巨星，光谱型由 F 至 G，在河外星云的外边区域到处都有，特别是在我们的银河星系里，在麦哲伦云里很多，而且有人曾对它作过很好的研究。

天琴 RR 型星的分布是很奇特的：

(1) 在有些球状星团里很多。这种很特殊的星团是由很接近的几十万颗星构成的，以后我们还要谈到。只有它们的外部才容易进行研究，我们在那里找到 1 215 颗变星，其中 1 172 颗属天琴 RR 型变星。这些星专名是星团变星。猎犬座星团(M3)有 166 颗这样的变星，杜鹃星团内却一颗也没有，这倒是很有趣的事。

(2) 银河系中心区域人马座里有很多这样的变星。经巴德统计，每平方度内有 300 颗。

(3) 有一些变星，如天琴 RR 型星，分布在全天各处，远离银河平面的变星常有大视向速度的特性，好像这些星是从上面所说的那些星群里逃出来的一般。

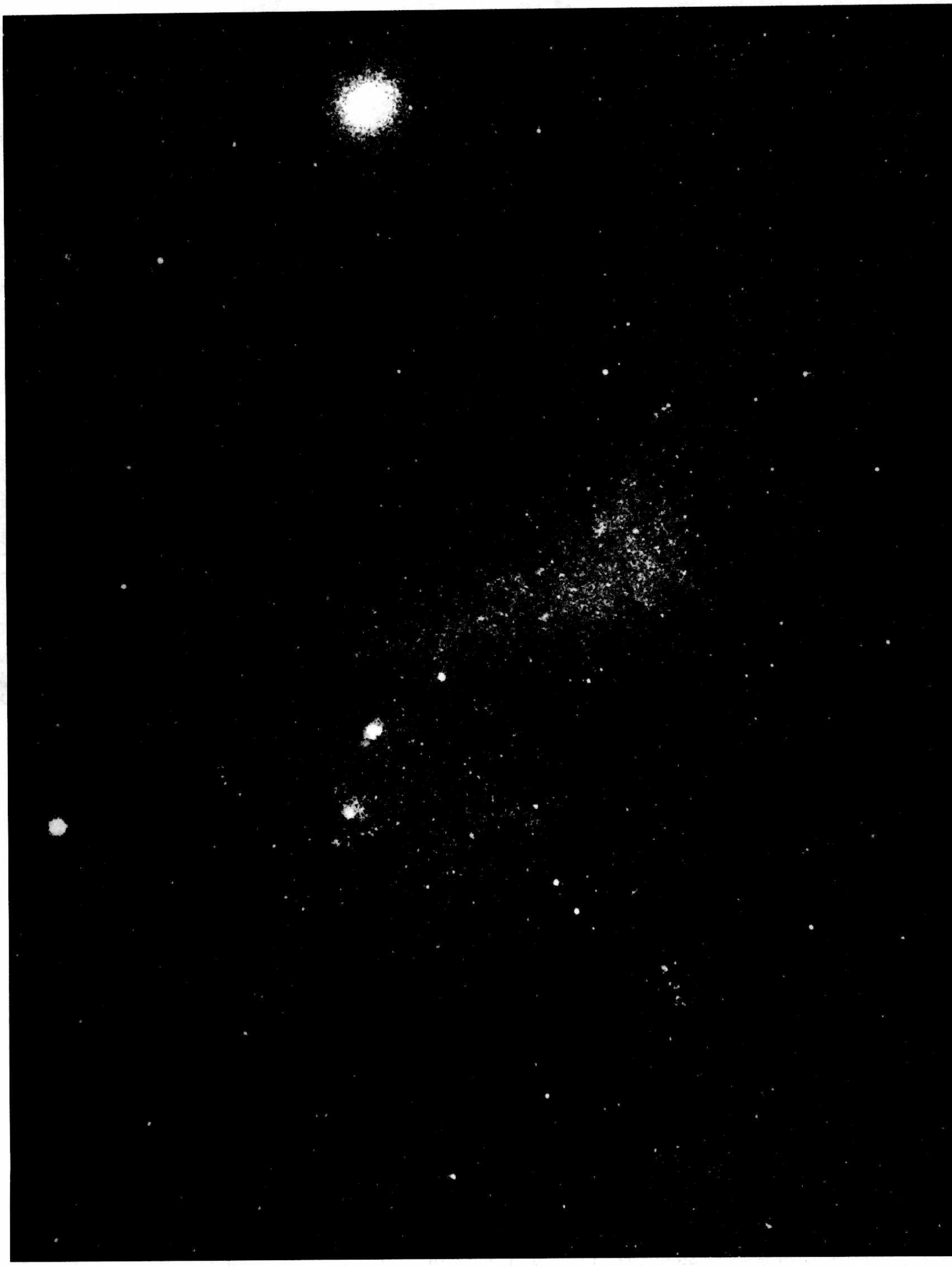


图 675　小麦哲伦云

图中有两个球状星团，即 NGC104（大的一个）和 NGC362（左边一个），这两星团属于银河晕。



**图 676　仙女座内的椭圆星云 NGC147**

经巴德(Baade)分解为恒星,其中的恒星完全属星族Ⅱ,大部分是红色的(帕洛马山,5 米口径反射镜拍照)。

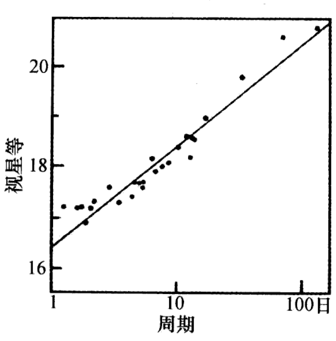



**图 677　小麦哲伦云里的造父变星周期和视星等的关系(时间坐标用的是对数尺度)**

这些变星的周期都很短,半人马内有一颗变星周期只有一小时半,宝瓶 CY 星的周期也差不多一样短。它们的光谱总是在 F 与 G 之间。现在,天文学家承认巴德的看法:在很密的区域,如球状星团和银河中心里,星和别的星不同,另成一类(图 676、678)。我们把这些星叫做星族Ⅱ。天琴 RR 型变星便是星族Ⅱ的代表,至于经典的造父变星则属于星族Ⅰ。

这是近来的一个重大发现,从这发现所推得的结论改变了我们对于宇宙的看法。

我们说过,在球状星团里有着一些周期是十日或几十日的、类似通常造父变星的变星。这些变星和经典的造父变星颇不相同,并不都在相同的周期亮度图上。这些变星肯定是属于星族Ⅱ的,正式的造父变星属于星族Ⅰ。我们下面还要讨论到这个重要问题。

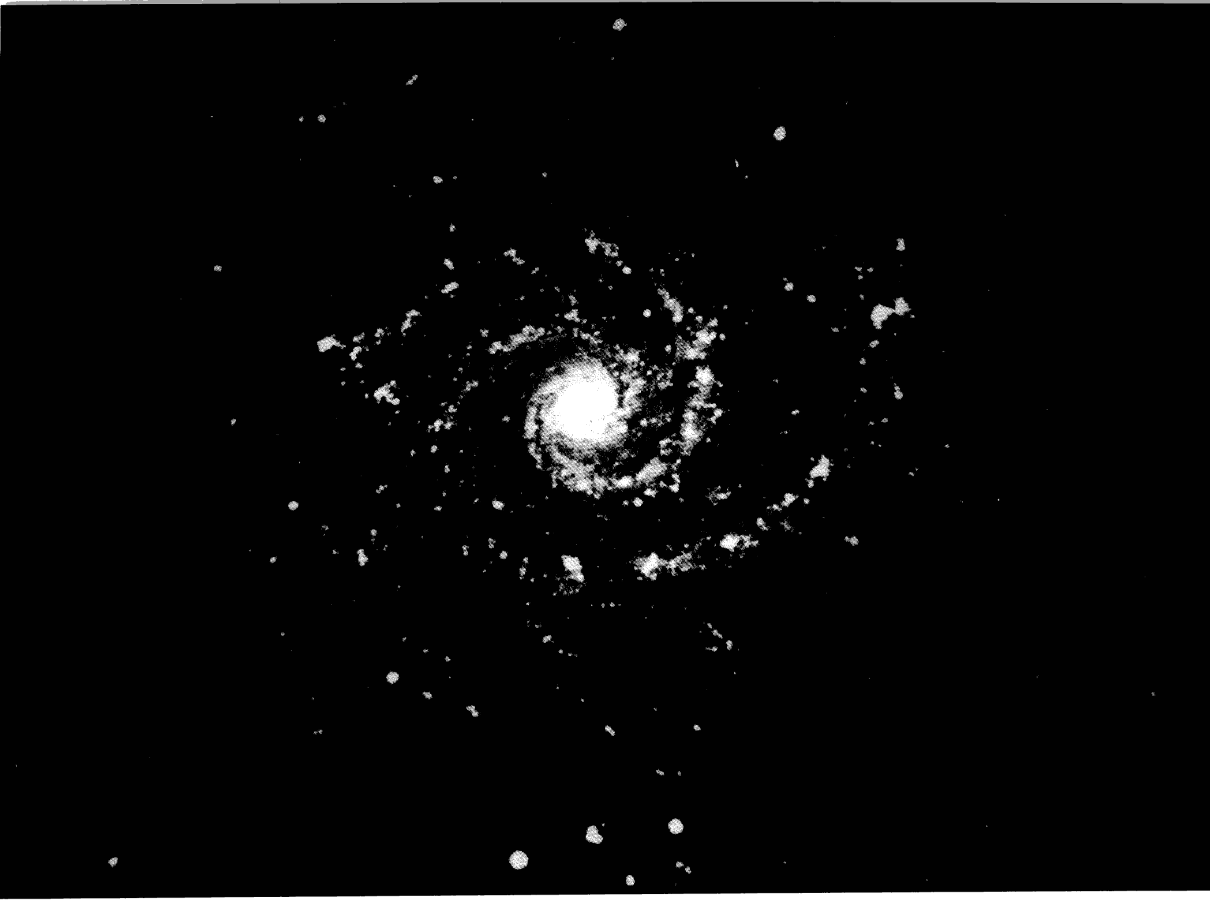


**图 678　双鱼座旋涡星云 NGC628 的外部**

这是由星族Ⅰ的星所构成的，只有核心才是星族Ⅱ的星所构成(帕洛马山，5 米口径反射镜拍照)。

在我们对于银河星系和旋涡星云的认识上，周期亮度关系起了重大的作用。由于这个关系，只需测定一颗造父变星的光变周期，便可知道它的绝对星等或者本身亮度。再将此结果和它的视星等加以比较，我们便容易而且精准地定出星的距离和包含变星的星团的距离。因为下面两个理由，这方法显得特别有效。一方面用帕洛马山的望远镜，借照相光度学的方法，可以测量到 22～23 等的星；另一方面，造父变星是异常明亮的星，比太阳要亮一万倍，所以即使它们很远，也能被我们观测到。这两个有利的因素合在一起，使天文学家得以测定很远的距离，例如测定仙女座大星云的距离。

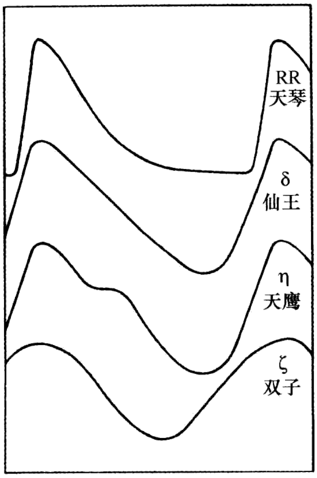



**图 679　天琴 RR 星和几个造父变星的光变曲线**

天鹰 η 星的光变曲线的突出部分是被证实了的。

固定勒维特曲线的绝对位置是很重要的一件事。由小麦哲伦云的测量只能固定曲线的形式，不能确定它在

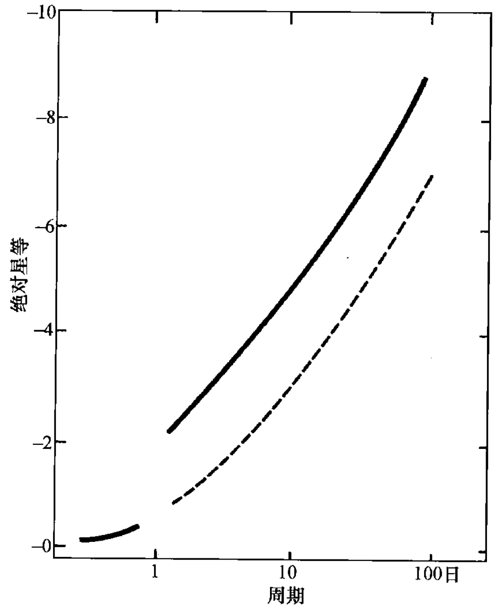



图 680 脉动星的周光曲线。左下方的一小段实线，属于星团变星（天琴 RR 型），周期比一天短，绝对光度差不多是常数，上方的曲线是星族 I 的造父变星的周光关系（自 1952 年所采用的）。周期 100 日的造父变星，绝对星等是 −9，这些星比太阳明亮 40 万倍。在巴德研究以前，天文学家错将这一段曲线和天琴 RR 星的一支连在一起，现在以虚线划在实线的下面，这样就使造父变星暗淡 4 倍

绝对星等的尺度上的地位。沙普利曾用几颗已知距离的造父变星去固定曲线的地位。很遗憾，这些星都很远，因此这种定标的工作只能根据不很确定的统计，而且资料也仅限于距离比较明确的几颗短周期变星。这样的确定法不可能产生使人满意的结果。因为短周期变星属天琴 RR 型，而不是正规的造父变星（图 680）。这两类变星并不通用一种关系。因此早期定标的结论就陷于错误之中。当我们谈及宇宙的结构时，还要回到这个问题上来。根据下表内记载的最新的结果，我们才明白，造父变星实际上比从前所测定的要明亮四倍，于是从前所定的距离实际上近了一倍，造父变星比从前所定的距离应该远一倍。因为造父变星是用以测量河外星云的距离的，所以这些距离均需加以修正。

| 周期（日） | 目视绝对星等 |
|---|---|
| 100 | −8.0 |
| 50 | −6.9 |
| 10 | −4.4 |
| 5 | −3.3 |

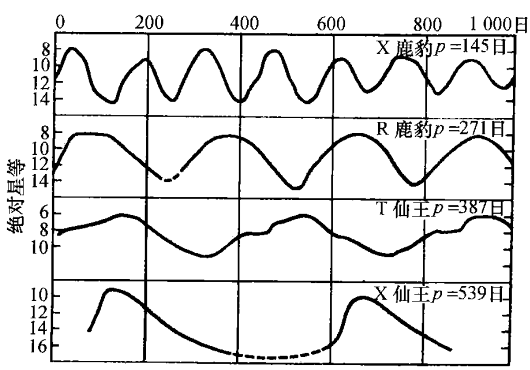



图 681 四个长周变星的光变曲线

这些曲线在每个周期里都有一些变化。

**长周期变星** 长周期变星和造父变星在星光的变化上是有关系的，只是在周期上有长短的不同而已。与大多数造父变星不同的一点，便是各个周期的光变曲线并不是严格的相同，有时在极大光亮上发生或多或少的差别，有时周期是做有规则的变化或骤然的变化（图 681）。就数学的意义上来说，这些星的变化是不规则的，但是从曲线上看，光亮的变化却有相当的规律。

这一类变星都是红星，很冷，属于 K5—M，以及 R、N 和 S 型。在这类星中有许多颗星的光谱里有发射谱线。

**鲸鱼怪星**　鲸鱼 o 星又叫鲸鱼怪星，是长周期变星的一颗典型星。图 682 表明了这颗星在天空的位置。自 1596 年经法布里休斯发现它是一颗变星以来，它的光亮变化经人观测了几个世纪。

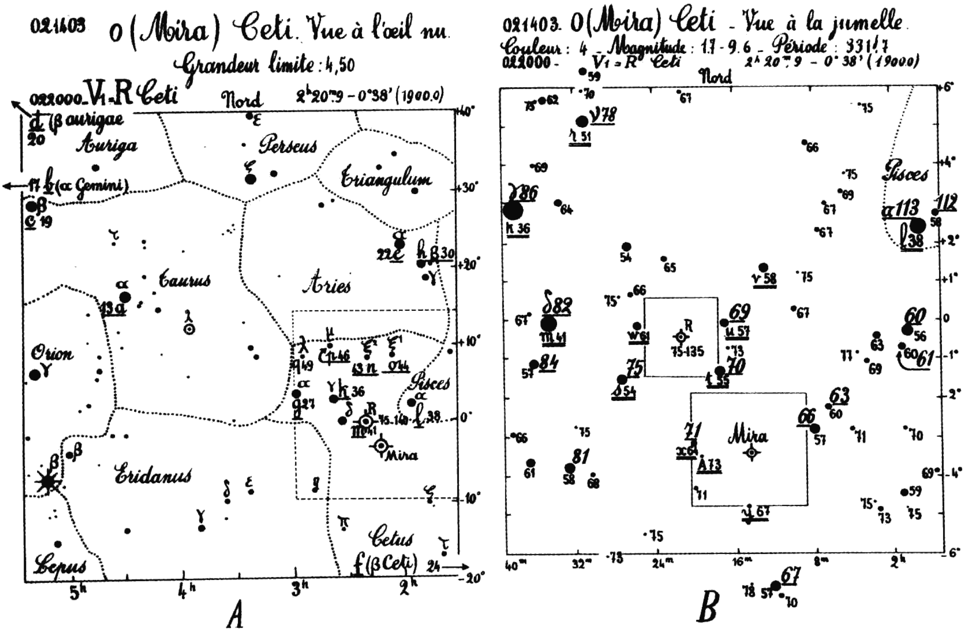



图 682　鲸鱼怪星周围的星图（法国变星学会印行）

这种变化是没有规则的。它的周期在平均值 331.6 日附近有或多或少的变化，极大光亮期可以早迟几天。极大和极小星等很有变化。我们观测到的极亮自 2.0 至 4.9，极暗自 8.6 至 10.1。未来的极大和极小星等很难预测。

图 683 表示这颗星在 1913—1914 年间的光变曲线。1913 年 10 月，星光极暗，是 9 等，经过一个多月，变化很少；到了 12 月，有细微的增长；到了 1 月，加速增长；2 月变化很快，每 10 天增亮一个星等；到了 3 月 9 日，达到极亮，是 3.1 星等；这

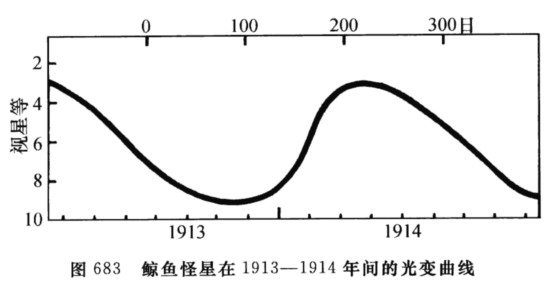



图 683　鲸鱼怪星在 1913—1914 年间的光变曲线

以后星光立即变暗，继续有规则地下降，每月暗一个星等。上升速、下降缓和长期停在极小是鲸鱼怪星的特性。这特性在同型的变星里是常见的。

这颗星的光谱(图 684)在 M5e 和 M9 型之间变化。这是冷星的光谱，有氧化钛的强光带和中性金属(铁、钛、钙、锶)的谱线。在这些吸收光谱上还重合着一个发射光谱，主要是氢的谱线和较弱的铁、硅和镁的谱线。在极暗时，这发射光谱看不见，只在星的光亮增长达到 7 等的时候，这光谱才出现。这以后，发射谱线增加强度，最强发生在星光最亮以后。随后，这些谱线重新消逝。最强的谱线是氢的 $H_\delta$ 线，这是奇特的现象，因为在别的具有发射线的恒星光谱里，这条线一般是弱的。我们认为，这颗星周围有很广阔的大气，特别是极亮的时候，这大气的作用好像发射星云一般。

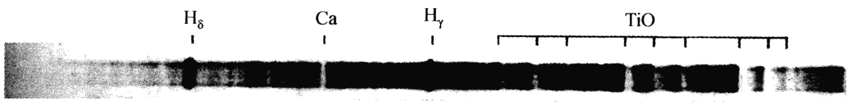



**图 684 鲸鱼怪星的光谱(负像)**

右端有氧化钛的带状特征光谱，很强，似露光过度的谱线属氢的明线。

鲸鱼怪星与我们地球的距离可能是 60 秒差距。在这样远处，对于它的平均的极大视星等而言，绝对星等当是－0.4。星的平均半径大约是太阳半径的 400 倍，可以被我们直接测得。因此，鲸鱼怪星是超巨星，而且是我们所知道的最大的星球之一。

1923 年，在这颗星的极暗时，乔伊观测到氢和氦的发射谱线。他认为，这些谱线是从艾特肯 1923 年在离主星 0″.9 所发现的一颗小星而来的。据库图(Couteau)的观测，这颗小星围绕主星在 30 年内仅运行 6°。根据这 1800 年的周期，算得视差为 0″.005，比一般所取的值小。这颗伴星是 10 等，也是变星。

鲸鱼怪星的光度变化在红外区比可见区或照相区要小得多。后面这两区域里的大变化可能是因氧化钛的吸收光带的强度而引起的。这些光带的加强就会取消掉大部分可见光和照相光，除了这一效应以外，还有辐射的普遍减弱。在红外区光带弱的原因，只是由于后面所说的这一事实所造成的。这颗星的光变原因是怎样的呢？我们可以把它当做是一颗周期特别长的造父变星来处理。这种处理好像是合理的，因为把它当做造父变星所算出的周期与这颗星的周期是符合的。

由视向速度的变化和用麦克逊方法所做的观测证明，这些超巨星的直径是变化的。可是现象更要复杂些，由一些特殊情况使我们想到，在脉动时有云掩蔽了星的表面。德国天文学家福尔姆(Wurm)建立了一种理论：由吸光云里的气体分子间的作用去解释吸光云

里发射谱线的来源。

**不规则变星**　我们可以将这些变星分为三个主要的类型，分别叙述如下：(1) 围绕定不准的平均光度不断变化的星；(2) 光度长期稳定，但有时突然或多或少变暗的星；(3) 光度长期稳定，但有时突然增加光亮的星。

**不断变化的星**　我们时常把这些星分为两类。第一类的代表星是金牛 RV 星，图 685 表示了它的光度的变化。这一类星我们知道的有 40 颗。它们和长周期变星很相似，不同的只是变化不规则而已。这些星和鲸鱼怪星很接近，也许云掩星的现象在这里特别显著。

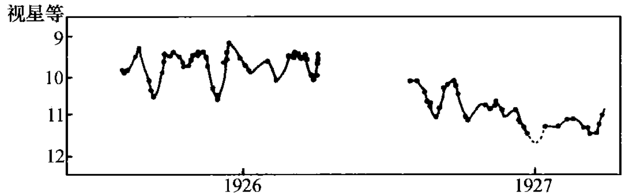



图 685　金牛 RV 星在 1926—1927 年间的光变曲线

类似仙王 $\mu$ 星的星，光度变化更不规则。一般光度变化颇小(图 686)。我们知道这类的星不少(150 多颗)，有几颗很亮，例如参宿四(猎户 $\alpha$)和帝座(武仙 $\alpha$)。

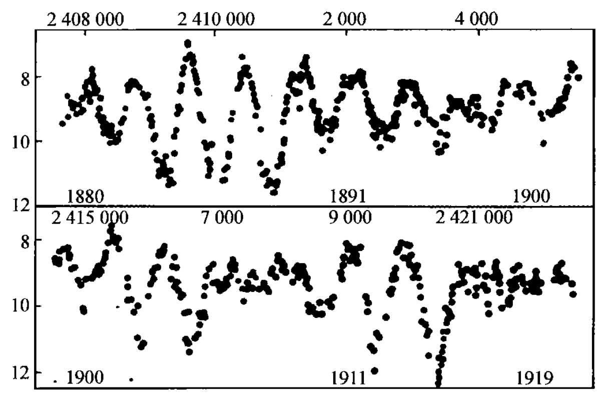



图 686　长周期不规则变星英仙 S 星(1880—1920 年间的光变曲线)

这些星光变化的原因还不能确定，我们容易联想到与我们太阳上所发生的相类似的现象。设想这些星表面也有由于内部旋涡运动而来的黑子。如果黑子现象相当严重，当然可以演成星光的不断变化，这也同时可以说明，这类星有时有维持光度不变的另一种特性。

**忽然变暗的星**　这些星以北冕 R 为代表(图 687)，它们的现象好像是有时被吸光的物质所掩蔽。北冕 R 星，通常的星等总是 5.8，经过很长的时间固定不变，忽然间光亮骤减，而且减少的情况是变化的，我们曾经观测到的极暗光度是 6～14 等的星。以后，光亮上升需要比下降更长的时期才达到原来的星等 5.8。在 1906 年与 1924 年之间曾经观测到许多次极小，显著的有 1909—1912 年、1915 年、1917—1918 年、1921 年、1923 年和 1924 年几次；以后经过 9 年半，光亮都没有变；这以后变化又开始进行。这类星中已知的 50 颗

都是在银河附近，好像时常和吸光的云接近。它们的光谱型很不相同，从 B 到 M 和 R。这种现象使我们想象星从吸光的云后面走过。事实上，星应该在星云里经过，因为我们观测到光谱变化的时候有发射谱线出现，这只能解释为星和星云物质之间的相互关系。也有人设想，这些吸光物质是由星发出的，好像机车所发出的烟尘一般。

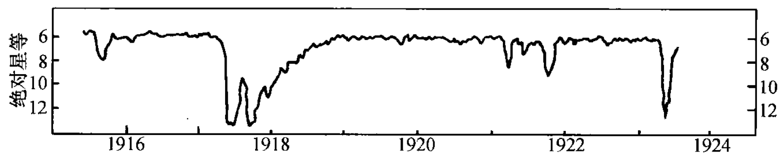



图 687 极大光度恒定、不规则地变暗的变星：北冕 R 星(1915—1924 年间的光变曲线)

**忽然变亮的星** 这一类型已经接近我们下面就要专辟一章来讨论的一类重要的星——新星。这一类里有几颗已经被人列为新星。例如，天鹅 P 星，又叫做 1600 年新星；1933 年蛇夫 RS 星骤然大放光明，经人列为 1933 年蛇夫新星。我们试谈一下这类变星的典型——双子 U 星(图 688)。这颗星在 30 日至 200 日内星光不变，总是 14 等，忽然在几个小时内，星急速变亮，可达 9 等，明亮了 100 倍之多。

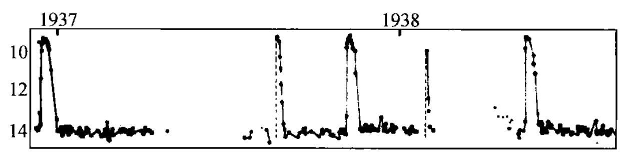



图 688 极小亮度恒定、骤然变亮的变星双子 U 星(1937—1938 年间的光变曲线)

天鹅 SS 星是另外一颗与双子 U 星变化颇为相似的星(图 689)。这颗星最暗时，星等是 12.1，变化很少。它总是骤然变亮，经过几天，再恢复原状。这样变亮的期间很不规则，中间相隔的天数从 20 日至 100 多日，平均大约是 50 日。星光一般变亮 40 倍，达到 8 等；有时它达到中间过程，即 10 星等，便停止上升。这颗星很热，它具有属于 O 和 B 型的氢与氦的谱线，且时常出现发射谱线。我们还知道许多这样的星，它们都很像我们将要研究的新星。

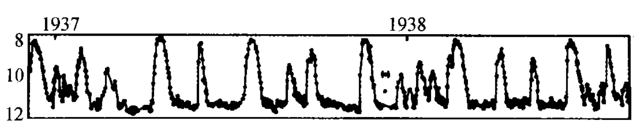



图 689 极小亮度恒定、骤然变亮的变星天鹅 SS 星(1937—1938 年间的光变曲线)

再谈一下近来所发现的另一类变星，即闪光星。这些星在一个短时间里特别明亮。这段时间是十几分钟或几小时，星光加倍，以后又恢复原状。这样的爆发时常出现。图 690 表

示宝瓶 AE 星的变化，那是法国南方天文台勒努韦耳(Lenouvel)由观测而得的记录。

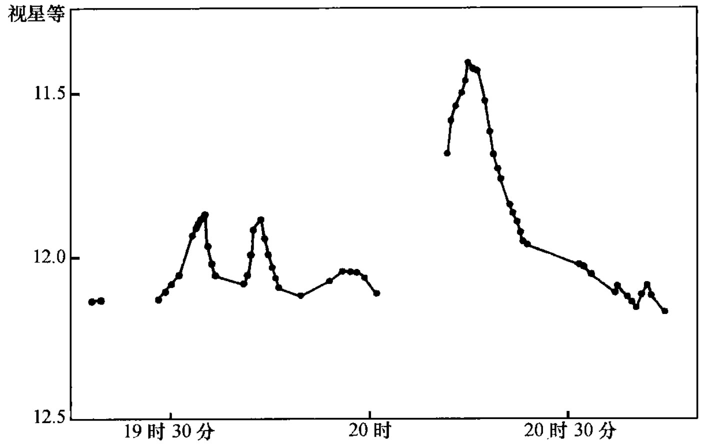



**图 690　迅速变亮的变星宝瓶 AE 星**

1952 年 10 月 17 日勒努韦耳所观测的结果。在 10 月 17 日 20 时 10 分所起的骤变，于 10 分钟以内光亮加倍。到了 20 时 40 分又恢复原状，但在 21 时再度爆发。

紫外区变亮特别厉害，这表明，不是这区段里有发射线出现，便是星的温度骤然间大大的增高。变化的原因还不明白，也许是和恒星大气的爆发现象有关。这些星是红矮星，它们与将要叙述的另外一类变星——金牛座 T 型变星——有一些相似之点。

**金牛座 T 型变星**　以金牛 T 为代表的这一类星，也是主星序里的矮星，就光谱型论(F 至 K)，它比闪光星要热一些。它们总是在吸光云的里面或者附近。光亮的变化不规则而且相当小。这些星的光谱是很有趣的：除了正常的吸收线之外，还有氢、中性氦和电离氦的强烈的发射谱线，以及许多电离金属的谱线。

自从系统的搜索以来，这类星已被发现很不少。因为它们自身的亮度小，这些星总是不很亮。乔伊在金牛座的一朵暗云里发现了 40 颗，最近又经几位天文学家在猎户大星云附近发现了几十颗。有人认为，这是在密的暗星云里面的爆发星，从星球射出的物质以高速度碰撞着星际质点，这样的碰撞造成发射谱线，增加星的光亮。麒麟 R 星是这种类型的变星，这颗星和光亮也在变化的星云 NGC2261 有联系。图 691 是这张星云的照片，它好像是受了光波的穿透，形状好像也在变化。



图 691　和麒麟 R 星相联系的星云 NGC2261

这是帕洛马山 5 米反射镜所拍摄的第一张相片。

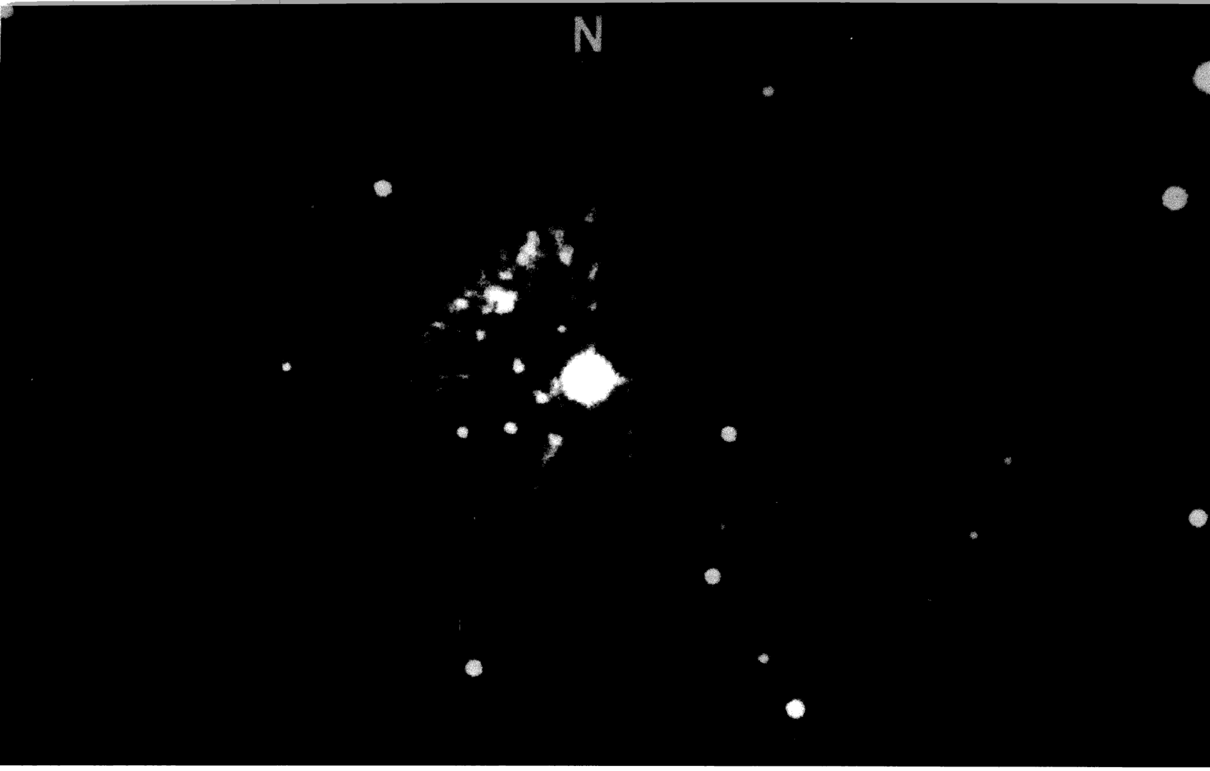



**图 692　1901 年英仙座新星周围的星云气**
将这张照片和蟹状星云的照片(图 762)比较,它们很相似(拍照于 1952 年)。

# 第五十章

# 新　　星

在任何时候,如果天空中忽然出现一颗亮星,都会引起人们的注意。公元前 3 世纪,喜帕恰斯就是因为看见一颗新星,他才制成了有名的星表。古代的历史记载了不少类似这样的新星:1054 年金牛 ζ 星附近、1572 年仙后座里都有明亮的新星出现。后面这颗星经第谷描绘,说是比金星还亮,白昼也可以看见。虽然第谷曾精密地测定了它的坐标,可是现在却不知道是不是还可以看见,因为这个区域里有几颗暗星都在 1572 年所定的位置附近。人们曾经观测过这颗新星达 16 个月,那时望远镜还没有发明。1604 年开普勒观测到另外一颗新星,达到木星的亮度,这颗新星经过两年之后才看不见了。

新星的记法是在 N 字母后面跟上新星所在的星座和最大亮度的年代。例如,N Herculis1934 代表 1934 年在武仙座内出现的新星。有些曾被人认为是变星的新星,仍以这些星的变星名称命名,例如 1866 年在北冕座内出现的新星,叫做北冕 T 星。

明亮新星的出现是一个引人遐想的现象。因为增添了这颗星,星座忽然改观,使我们不认识这个星座了(图 693)。这样说来,好像明亮的新星不会逃过人的眼睛,可是事实上并不是这样的,因为有些新星的最大亮度转眼消逝;专业的和业余的天文学家虽然经常注意天象,可是人数还不够多,因而有几颗新星在衰歇期里才被人发现。

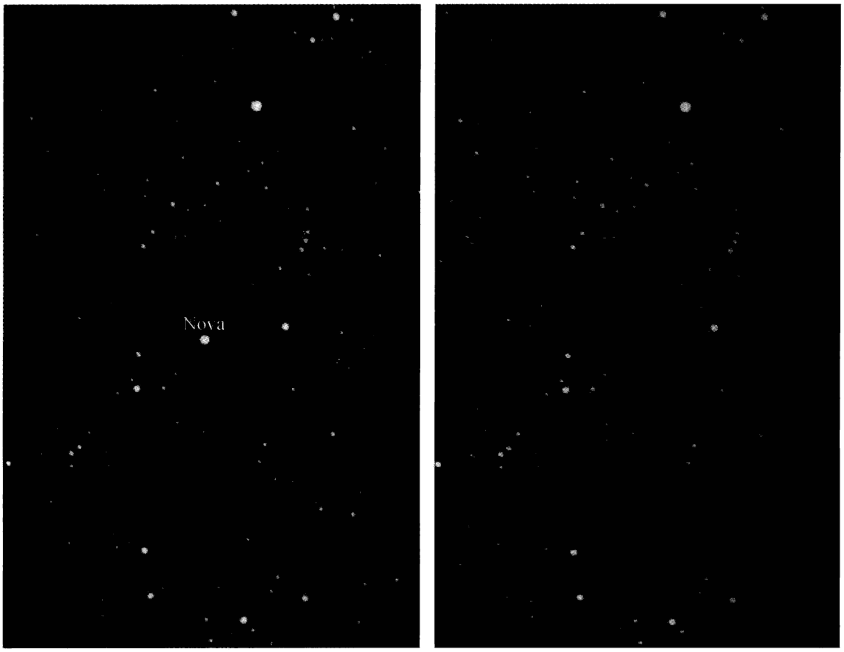



**图 693　1950 年蝎虎座新星**

默东天文台贝尔托(Bertaud)发现的。左边一张照片是 1950 年 1 月 23 日发现后的次日所拍的。右边一张是同一区域在三年前所拍摄的,上面并没有那颗星的迹象。

**1918 年天鹰座新星**　这是一颗典型的新星,曾经人们仔细地研究过。这颗星于 6 月 1 日首先经鲍尔(G. N. Bower)在马德拉斯(Madras)发现,那时是 1 等星;在他发现的以后几小时内,许多观测者也都发现了它,前线的士兵们把它叫做“胜利星”。发现后 22 小时,这颗星达到极亮,星等是－1.1,差不多和天狼星一样明亮(图 694)。在爆发以前,这颗星曾经被拍在许多照片上面。在 1888—1918 年间,哈佛天文台拍有 30 张照片,说明它是一颗稍微变化的暗星,星等在 10 和 11 之间。凑巧在 6 月 5 日拍的照片表明,这颗星的光亮是 10.5 星等,而 6 月 7 日 19 时的照片上星等是 6.6,所以在不到两天之内,它的光亮增加

了 4 个星等。我们认为，它真正的爆发开始在 7 日的某一天内。最后一张照片的拍摄与鲍尔的发现仅差 9 个小时，这颗星变了 5 个星等，它的光亮增加了 100 倍。

在这一爆发性的明亮以后，星光开始下降，平均每日降 0.27 星等，在 15 日后达到 3 等星。这样的下降一直继续到 6 月 24 日，现象改变成另外一种趋势：减光速度变慢，随后光亮重新增加，至 7 月 2 日达到一个次极大。但是随后又开始减光，成了振荡式的减少，而且振幅逐渐变小；到了 9 月 7 日，已经经过了 8 个极大与 7 个极小。那时星等是 5，肉眼差不多看不见了。它的减光缓慢地、均匀地继续下去，在 100 天内，星降低了 2/3 星等。1918 年 12 月 9 日，星等是 5.55；1921 年年底，光亮达 10 等；1926 年又回复到它原来的光亮——10.8 星等。

图 694 表示这颗典型新星的光变曲线。我们还认识了另外几颗新星，光度的变化也和这颗完全相同，只是各阶段上光变速度的快慢有一些差别而已。从极亮时开始，1918 年天鹰新星在 10 日内，1910 年蝎虎新星在 30 日内，1925 年绘架新星在 200 日内，都减少了 3 个星等。最后这颗星的变化，使人联想到银幕上的减速放映。对于上面所述各阶段的情况，这类新星大多数都或多或少表现得相当明显，可是另外一些新星的光变曲线与这类新星却大不相同。下面叙述一颗明亮的新星，用来说明这种情况。

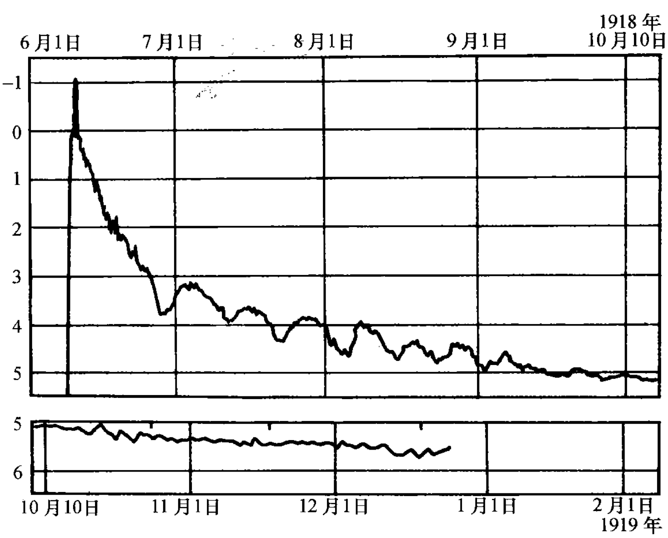



图 694　1918 年天鹰座新星的光变曲线（坎贝尔绘）

**1934 年武仙座新星**　爆发以前所拍摄的许多照片表明，这颗星是一颗小的变星，常比 12 等有时比 14.5 等还暗。1934 年 12 月 12 日，它略暗于 6 等星；12 月 13 日 4 时 30 分，它被英国天文爱好者普伦提斯(Prentice)发现，星等是 3.4，但还没有达到最大亮度；

到了 12 月 22 日，星等变成 1.5，始达极亮。从此以后，它的光亮开始不规则地起伏，但逐渐减少，到 4 月 1 日，星光达到 5 等。这以后，下降得异常迅速，5 月 1 日星等达到 13，比 1 个月以前暗了 1 000 倍。新星的历程好像是结束了，可是使人非常惊异的事又发生了：星光再度有规则的增长，到 6 月 2 日，达到 8.75 星等；7 月 3 日，达到 7.29 星等；9 月 2 日，达到次极大 6.7 星等。这以后，星光再度变暗，1937 年 2 月，达到 8 等；1938 年 12 月，达到 9 等；1940 年，达到 10 等；1949 年，达到 13.5 等。光变曲线表示出这种奇特的变化（图 695、696）。

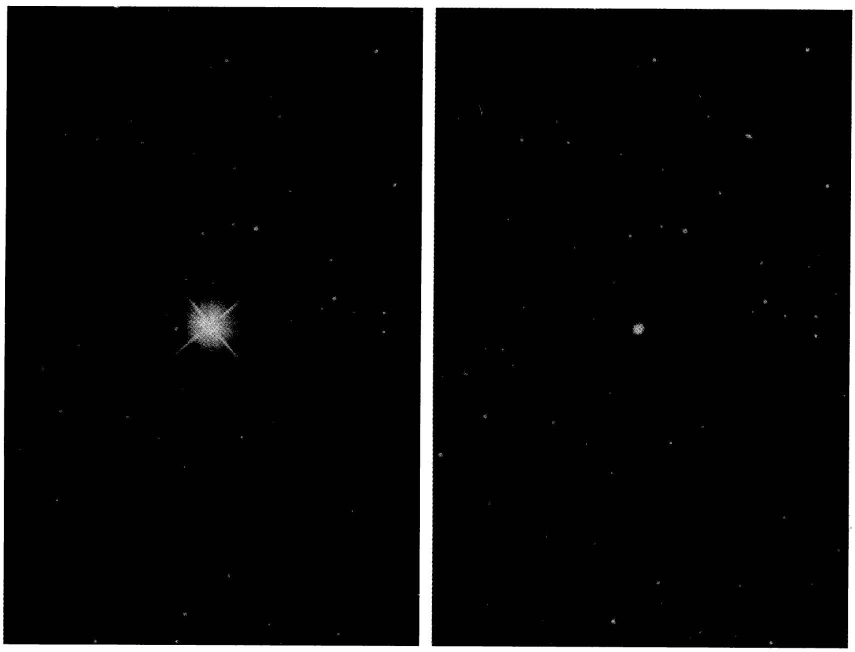


**图 695　1934 年武仙座新星在演变中的两个阶段**

左图是 1935 年 1 月 31 日在极大后 40 天拍摄，右图是 8 月 22 日已在衰歇阶段拍摄。两张照片的露光时间相同，表现出光亮有很大的变化。左图的十字光芒是望远镜小反射镜的支架所造成的。

自从人们能够使用摄谱仪研究新星后，我们对于这类星的认识就大有进展。我们把这些星错误地叫做“新星”，因为它们在爆发前已经有了，在爆发以后仍然存在，只是在爆发的时候它们的光亮变化特别大而已。在短暂的光明期里，它们的光谱变化很大。我们对于这些爆前的新星所知甚少。它们总是很暗的星，虽然知道它们的星等，却不知道它们的光谱。有各种理由使我们估计这些星是 A 至 F 型的星。

星的增亮是很突然的，常在几小时内，很少在几天内，星光增亮到 5 000 倍至 10 万倍。那时我们拍得的光谱，相当于巨星的 A 型，谱线向紫端改位很多，好像星的大气在膨胀中。

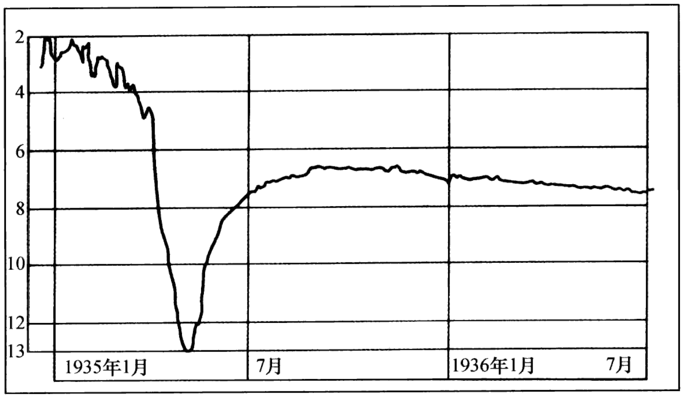



**图 696 1934 年武仙座新星的光变曲线**

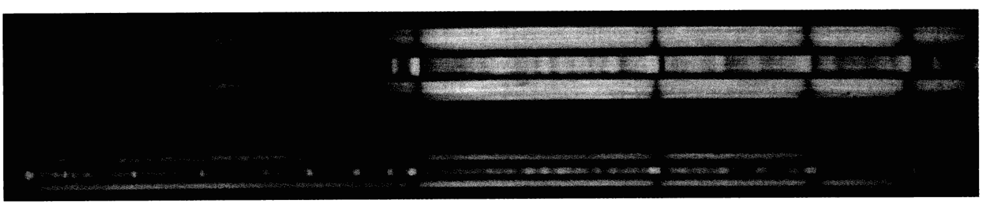


**图 697 1934 年武仙座新星的两个光谱**

新星的光谱两旁是织女星的光谱。和织女的氢谱线相当的有发射线(白色)和吸收线(黑色),都因多普勒效应向紫端移动。这移动的原因是由于气壳膨胀,它是向我们而来的,速度是 200 千米/秒。在氢的谱线之外,还有铁、钙、钠等元素的谱线。下面一条是光谱的红色区域。

膨胀的速度很大,可以达到每秒几千千米,谱线常是双重或者多重的,每一条线代表一个特殊的速度。例如,对于 1950 年蝎虎座新星,我们观测到三层膨胀的气壳,速度分别为 860 千米/秒、1 230 千米/秒和 2 080 千米/秒。在极亮后的一些时候,光谱中有发射线的出现,而且增亮得很快(图 697 至图 699)。这些明线先有氢的巴耳末谱线系,继后有氧、氮和电离的或多或少的金属谱线。在减光阶段里,这种光谱特别显著。当星光明暗摆动开始时,一般出现星云的特征谱线,特别是那条过去以为是氙其实是氧的绿色谱线。

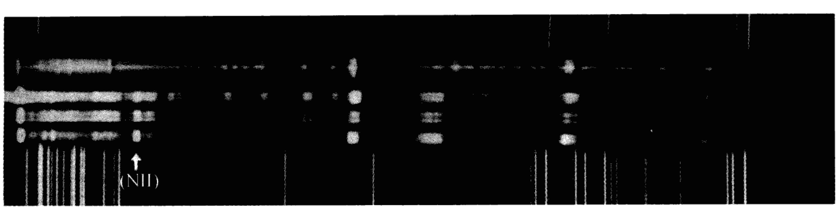



**图 698 1952 年蝎虎座新星的 4 条光谱**

由图可见在 4 个月的观测期间,光谱里发生了很大的变化。1 月 27 日的光谱里有电离铁和氢的明线。这些线的短波一边有吸收线,这说明有一氢层在膨胀中。这以后出现氮、氧和电离氦的原子的强谱线。有些谱线是由低压而来,例如很明亮的一条谱线 NII,从 3 月 8 日起就出现了。

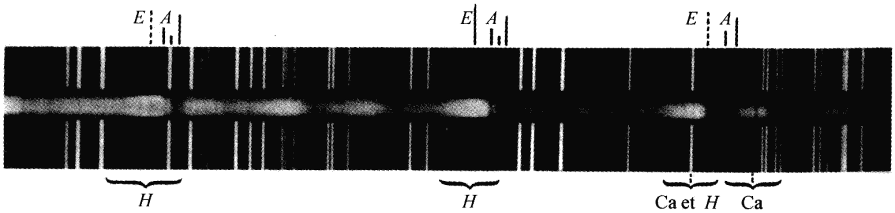



**图 699　1952 年蝎虎座新星的光谱**

拍于 1 月 27 日，图上表现了氢(E)和钙的发射谱线，每一谱线有三条吸收黑线(A)。这些线是由气壳的膨胀而来的。星际的钙谱线是很细的，突出在钙的发射线旁边。

这以后，连续光谱完全消逝，存在的只是沃尔夫-拉叶星的特征谱线，这些谱线常是由有星云气环绕的恒星所发射的。新星和这些特殊星不是偶尔相合，而是有亲属的关系。有些新星周围也有星云气，如环绕 1901 年英仙座新星的星云气特别有名。自 1901 年 8 月开始，有许多观测者发现有光亮的环圈以快速度向外传播。因为速度很快，这可能不是物质的气壳，而是星光在暗的星云上的反射。我们看见的是光波在星际物质上的照射。

这种星云气的发现是值得详细叙述的。1901 年 8 月 19 日，在弗拉马里翁和安东尼亚迪所拍摄的照片上，表现出新星周围有光环。他们认为，这不可能是仪器的漫射现象。这结果促使许多天文学家仔细地去观测这颗新星。海德堡的沃尔夫和叶凯士的李切(Ritchey)都发现了这团星云。在爆发后几个月，这团星云的视直径约有月亮视直径的一半，以后每年扩大 10′。卡普坦假设，这是星光在暗星云上的反射现象。这假设经珀赖因(Perrine)证实，这些光线的成分确实是新星爆发时的光线。卡普坦假设，光环膨胀的速度是光的速度，但由此假设推出星的距离显然是不符合事实的。1939 年，库德尔

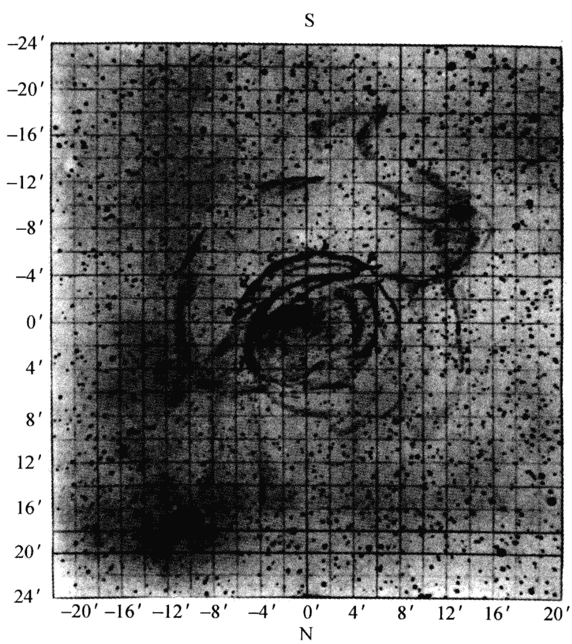



**图 700　英仙新星周围的星云气(1901 年 11 月李切描绘)**

才将这不合理的地方加以解释，这表明，这种视速度可能超过光的速度。被照着的物质是处在新星和我们之间，这团星云是依次被照着的物质层所形成的。

1916 年，即在爆发以后的 15 年，巴纳德首先发现被新星抛出的物质变成了真正的星云(图 692、701)。1919 年，它的直径还只有 5″，膨胀率约为每年 0″.4。哈马逊(Humason)甚至已拍摄到这星云的光谱。谱线果然是星云的特征谱线，它们的特殊形态表明，这星云是处于膨胀中。人们容易推算出，这膨胀率为每秒 1 200 千米。把这些观测综合在一起，便可推出新星的距离，因星云每年膨胀 0″.4——这是以每秒 1 200 千米的速度、物质运行一年的距离所具有的角度。于是算出，新星的距离是 530 秒差距或 1 700 光年。要使这样远的一颗星的视星等达到 0.2，它的自身亮度应该是很大的。根据计算，这颗新星的绝对星等是－8.4，也就是说，这颗星比太阳要亮 20 万倍。这颗新星在爆前和爆后视星等都是 13.5，相对应的绝对星等是 5，大约与我们的太阳相同。由此可以计算新星以光的形式所发出的能量，这只要在它经常的光亮里，再加上一切瞬时能量。这样，我们求得这颗星在新星阶段所发出的辐射，相当于我们的太阳在 6 000 年内所发出的能量。而且这些辐射的极大部分，只是在新星最亮时几天之内发出的。

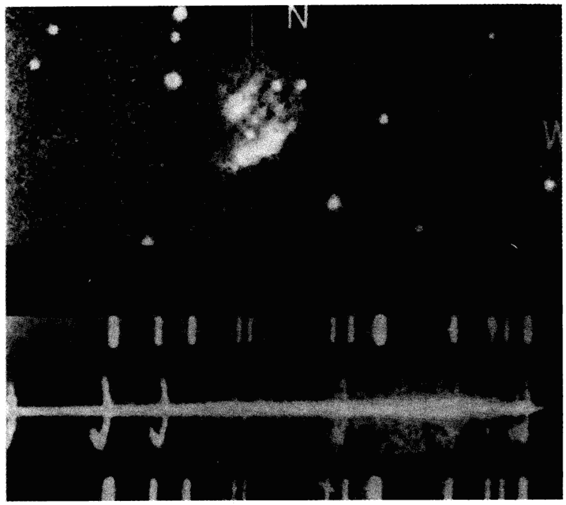



**图 701　1901 年英仙座新星发射的物质于 1934 年 12 月(爆发后 33 年)被拍得的照片与光谱**

这团星云气的直径只有 13″。在图 700 代表新星的小圆里，所有的星云气差不多消失了。哈马逊将摄谱仪的光缝放在前一张图所划的那条细线上。注意谱线有 J 字形的奇特构造。右边的部分来自向我们而来的物质，左边的钩状是来自离我们而去的物质，由这条谱线的结构算出膨胀速度是 1 200 千米/秒。

新星发出的能量虽然很大，但是相对于星本身所能产生的能量，还是很小。在二十几天内新星所发的能量等于平常 6 000 年所发的，但是以平时的速度发放，储蓄的总量足供几千万年的消耗。据相当可靠的计算，新星期间所耗的能量仅是全量的 1/10 000 而已。爆发以后和爆发以前一样，因为它还具有 9 999/10 000 的能量，这颗星的光力仍然很强，而且它所损失的总能量也是一个微小的分数。谁敢说，这颗新星的后身不再爆发，再度变成新星呢?

**新星的统计**　迄至 1950 年，人们已经记录了 131 颗新星。在这张表上需除掉几颗别

种类型的变星和3颗在本章末要谈到的"超新星"，所以总共有120颗确定了的新星，其中30多颗是肉眼所能看见的。自从天文台经常使用照相观测以来，每年发现的新星数目增加不少。下面是各时期所发现的新星的数字：

自公元前 2679年至1847年……15颗或每1 000年3颗；

1848年至1899年……22颗或每10年4颗；

1900年至1937年……60颗或每10年16颗；

1938年至1950年……26颗或每10年20颗。

增加特别多的是暗新星，但由于一种偶合，这些年里新星特别多。这种偶合是因为这些远星的爆发期虽大有差异，但它们的光线却差不多同时达到地球。下表记载了最明亮的15颗新星：

| 名称 | 时期与星等 | | 1975 α | 1975 δ | 类型 |
|---|---|---|---|---|---|
| 金牛座新星 | 1054年 | −5 | 5时29分 | +21°57′ | 超新星 |
| 仙后座新星 | 1572年 | −5 | 0时19分 | +63°36′ | 超新星 |
| 天鹅座新星 | 1600年 | 3 | 20时14分 | +20°47′ | |
| 蛇夫座新星 | 1604年 | −2.2 | 17时25分 | −21°24′ | 超新星 |
| 狐狸座新星 | 1670年 | 3 | 19时44分 | +27°4′ | 慢 |
| 船底座新星 | 1 843年 | −1.0 | 10时41分 | −59° | 很慢 |
| 蛇夫座新星 | 1848年 | 4.0 | 16时54分 | −12°44′ | 慢 |
| 北冕座新星 | 1866—1946年 | 2 | 15时55分 | −26°12′ | 再发-快 |
| 英仙座新星 | 1901年 | 0.2 | 3时24分 | +43°34′ | 快 |
| 天鹰座新星 | 1918年 | −1.1 | 18时44分 | +0°28′ | 快 |
| 天鹅座新星 | 1920年 | 2.0 | 19时56分 | +53°21′ | 快 |
| 绘架座新星 | 1925年 | 1.2 | 6时35分 | −62°33′ | 慢 |
| 武仙座新星 | 1934年 | 1.5 | 18时5分 | +45°51′ | 慢 |
| 蝎虎座新星 | 1936年 | 2.0 | 22时12分 | +55°7′ | 快 |
| 船尾座新星 | 1942年 | 0.4 | 8时8分 | −35°3′ | 快 |

要发现在我们的旋涡星云里诞生的一切新星，当然还没有办法。根据比较可靠的估计，在我们的银河星系里，每年应有2颗比6等亮的新星以及30颗比9等亮的新星。据粗略的估计，每年新星出现的总数当有100。这数字可从对与我们的星系类似的仙女座星云的观测中得到证实，系统的照相观测曾经在这个星云里发现108颗新星。在这远方星云里，几年之内所观测到的新星，与几千年内在我们星系里所观测到的数目差不多相等，这是容易了解的：因为我们所看见的仙女星云是它的整体，并不像我们看自己所处的星系它的许多部分是被遮蔽着的；星云的整个面貌可以记录在一两张照片上面，而我们对于自己的星系就必须拍摄几千张之多。




图 702　仙女座星云的中心区域(图上标出有哈勃研究过的 50 多颗新星的位置)

在仙女座星云和别的旋涡星云里所观测到的新星和银河系里的新星，有着一样的表现：这些星系里最亮的星在最亮的时候超过最亮的造父变星 6 倍。根据 50 多颗新星的光变曲线和拍得的几个光谱，使我们毫不怀疑这些河外星系里的新星与我们在银河星系内所发现的是完全相同的。

仙女座星云里新星出现的频率和对我们星系里所假定的数字是可以相比的。哈勃估计的数字是每年 30 颗。仙女座星云里的新星的分布是奇特的(图 702)：外边稀少，绝大多数都在中心附近。好像在中部的边沿上新星最多，这很可能只是由于观测上的困难所造成的，因为中部明亮，容易使照片模糊，使我们辨认不出新星。这种看法是有趣的：星在星云中央比在边沿来得多，混在繁星之间的新星，当然也会多些。但是另一方面，因为中央的星属于星族Ⅱ，新星可能是这个星族的一种特性，可是这还是一个尚待解决的问题。在一些旋涡星云里，我们虽然尽力搜寻，却没有发现新星。例如，大熊座内的旋涡星云 NGC3031，既容易观测，也曾加以仔细地研究，但却没有发现新星。同时我们也知道，这个星系里很少属星族Ⅱ的星。

我们再叙述一下新星在我们星系里的分布。绝大多数的新星出现在银河附近，而且常在银河的南边，其中有 60%离银道面不过 10°。这是自身亮度很大的星的一种特性，O 型星的分布也是这样。

当我们愈接近人马座里银河中心的时候，银河里的新星便增加得愈多。图 703 表示新星在天空的分布，一眼就可以看出以上所说的那两个特性。

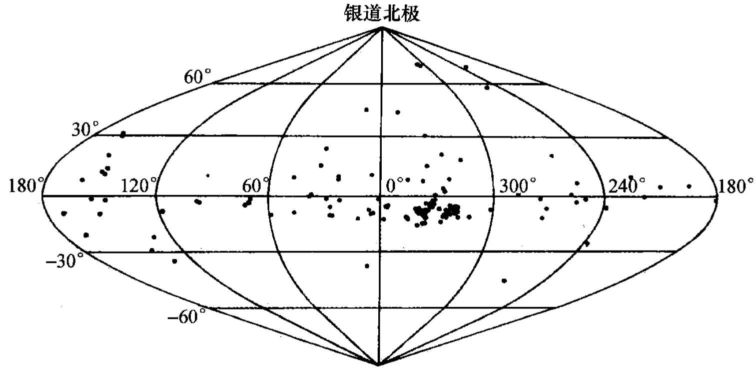



图 703 新星在银河坐标上的分布

在银道面上的密集情况很是明显。在图中心稍微偏右之处最密集，这一点即是人马座内的银河系中心。

这种分布情况显然表明了我们对仙女座星云里所做的直接观测，新星是密集在星云

的中央。新星的距离因其遥远而很难确定。我们已经说过应用以测定 1901 年英仙座内新星距离的间接方法，那是不能直接测量到与 530 秒差距相当的 0″.002 的视差的，实际测量所得的数值与零相差不远，由此推出的距离是上述距离的 1/5。这一颗还是相当近的新星，对于别的新星，距离测量困难之大更是可以想象了，只有用间接的方法才有希望得到一点结果。

除了对光亮的气壳和气体星云的膨胀的研究之外，还有另外一个相当可靠的方法。星际空间不是空的，而是有各种各样的物质。这些物质给通过它们的光线打下烙印，显著的是几条钙线重合在恒星光谱上，借这些谱线的位置和强度，得以测量星光所经过的距离，因而可以求得新星的距离(参看图 746)。

只有 8 个新星的距离是这样测定的，我们便可计算这些新星在爆发前后和爆发期间的绝对星等。

| 新星 | 绝对星等 | | |
| --- | --- | --- | --- |
| | 爆发前 | 爆发时 | 爆发后 |
| 英仙 1901 | 5.0 | −8.5 | 4.8 |
| 双子 1912 | 1.4 | −9.7 | 1 |
| 天鹰 1918 | 3.1 | −9.5 | 2.1 |
| 天鹅 1920 | 2.5 | −10.1 | 3.3 |
| 绘架 1925 | 2.3 | −8.8 | 0 |
| 蛇夫 1933 | 2 | −5.7 | 1.5 |
| 武仙 1934 | (5.9) | −7.0 | — |
| 蝎虎 1936 | (4.5) | −7.5 | — |
| | — | — | — |
| 平均 | 3.3<br>2.7 | −8.3 | 2.1 |

由这张表可见，新星在爆发后仍然恢复原来的亮度，平均说来，它们比太阳约亮 10 倍。我们在表内所看到的不大的差异是无关紧要的，特别是爆发前后的星等是不大可靠的，因为我们不知道表内最后两颗新星最终阶段的情况。把它们排除掉以后，爆发前后的数字分别为 2.7 与 2.1。我们认为，这些新星属于 A5 至 F 型，所以表内所得的亮度是正常的。

在解释新星的生成以前，我们试问，这样的爆发是某些星所特有，还是所有的星都会害这样的高热病呢？根据统计，可以给予一些有趣的回答。

我们先将下面的两个估计作为计算的基础。我们星系每年出现 100 颗新星，我们的星系大约有 2 000 亿颗星。假定每颗星只爆发一次，那么所有的星在 20 亿年内都经过一

次新星的阶段。观测给我们表明，只是一部分光谱型A至F、绝对星等2或3的星才会爆发。因为这样的星不多（只有全体的1/10），它们在2亿年内都会达到爆发的阶段，所以应该假定，每颗星可能有几次爆发，这种可能性由事实推断当是必然的。因为我们星系所经历的时间远远超过2亿年，而且有种种理由可以相信，我们的星系自形成起就有新星，所以有些星爆发几次，有些星始终稳定。另一方面，我们敢断定，在最近10亿年里，我们的太阳未曾演变为新星，这是由地层里的生物化石自太古代开始至今未曾间断的这一事实而证实。

另外一种论证更有确切的意义：我们曾经发现有再发的新星。有名的例子便是北冕座新星，曾于1866年和1946年两度爆发，在1866年爆发时曾达到2星等，最后恢复到原来的10等。但是这颗星是一颗特殊的星，光亮有少许的变化，具有发射谱线，这些谱线也是变化的。这颗变星被列为北冕T星。第一次爆发后80年——1946年2月，这颗星经过第二次爆发，仍然达到2星等。

无疑，这是同一颗新星经过两次爆发。一切现象，如光曲线、光谱，都是属于新星的，而且这颗星表现出一些有趣的特性。我们应该很谨慎地去推广由它所得到的结果。

在这颗星的衰歇期和极暗阶段里，光谱里出现氧化钛的吸收光带，这是M型星的特征。根据这颗星的现象，可把它解释为双星，成员中有一颗可能是爆发成新星的热星，另外一颗是光度变化典型的红巨星。维也纳天文台甚至宣布说，这对双星曾经被人分离开了，但这种说法没有得到观测的证实。事实上，有一些叫做共生星的星，给我们带来一些奇特的问题：这类星的现象非常复杂，不是一颗热星和一颗冷星联合起来就能解释所观测到的一切细节。有些天文学家否认这种双星的见解。我们现在知道的7颗再发新星，其中有两颗曾经不只是两度爆发。两度爆发的相隔时间自12年至142年。根据库卡金和巴连那果的研究，爆发相隔时期和光度变幅有关：大爆发相隔较远，小爆发相隔较近。罗盘座T星在1890年、1912年、1920年和1944年经过四次爆发，它的光度变化很小，它的亮度是原有亮度的100倍，而不像典型新星那样有10万倍。这颗新星的光谱很像典型新星的光谱，只是一切现象都不大显著，可以说是一种小型爆发的新星。如果这两位苏联天文学家所说的关系是正确的，那么典型的新星两次爆发的期间当是很长，这需要留待后代人去观测了。

**新星爆发的机制** 下面所总结的观测结果，是一切新星的理论应该都能够解释的：新星爆发的时候光亮骤然增加，达到平时的两万倍。爆发时喷出一大团气体物质，逃逸速度是每秒几百乃至几千千米。星仅损失它的能量和它的物质的万分之一，灾祸并不算太严

重。我们有很多理由假定，同一颗星可能有几度爆发，中间相隔的时间长短不一。

我们已有的知识使我们足以抛弃星球整个爆炸的假说，如果是那样的话，释放出的能量将数千倍之大，一次灾祸便够了，因而是不会重演的。另有几种假说认为，新星爆发是由星球互撞或星球与星云冲突而引起的。米尔恩（Milne）以星由亚矮星转变为白矮星的过程来解释新星的现象。由这种理论便该推得，新星爆发后应该比爆发前暗些，可是这样便和事实发生了矛盾：新星爆发后和爆发前一样明亮。而且根据计算，米尔恩所研究的能量的释放，远比我们所观测到的多得多。

现今的理论都认为，爆发只局限于星球的大气里。星的大气的平衡一般是被向心吸引的重力和向外排斥的辐射压这两种相反的力量所维持的。这样的平衡在恒星大气里不是到处随时都可以维持的，但是常在骚乱里重新建立，犹如沸腾的锅里的水一般。由于种种难于确定的原因，这样的平衡可能遭到破坏，于是大气的外层被排斥出去。在短时期里我们所看见的是星球的内部，这便是极亮的阶段。从这热的内部而来的光线，经过膨胀的气壳，气壳吸收了这些我们所看见的向紫端移位的谱线。接着当膨胀继续进行的时候，气体物质愈来愈稀薄，终于变成星云，显现出它特有的光谱，但必须在爆发后一二十年，当星云距星有相当远的时候，这种现象才能观测得到。

这气壳不一定是一团球状的气体，气体被驱逐出去的情况在某些方向上可能特别突出。这可以说明，有些新星（例如武仙座新星）被分解为两个或者多个成员。1935 年 7 月 3 日，柯伊伯观测这颗星，认为是近距双星，中间相距 $0''.2$，方位角 130°。以后有许多观测证实确有这样的分离，并说明这两星体每年离开 $0''.3$，但是没有轨道的运动。巴德根据照片和光谱说明，这并不是一对双星，而是一个正在膨胀的小星云。原先看见的两个成员只是星云的两极端在两个方向上的膨胀。与这两个相距 90°的方向上，还有另外两个成员。这种天体具有的星云性质是无可怀疑的，因为它的凝聚处的光谱确是星云气的光谱，其膨胀率是每年 $0''.3$，相当于它的膨胀速度。

沃龙佐夫-维略明诺夫（Vorontsov-Velyaminov）针对上述情况提出了下述理论。根据这位苏联天文学家的意见，一部分大气被抛出的时候，另外一部分被核心所吸收，核心的物质增加，变得很密，类似白矮星的情形。所以，每爆发一次，星便愈接近白矮星的阶段一些。可见，这位苏联天文学家的理论和米尔恩的理论接近，只是变化不是一次，而是继续分段的完成罢了。根据这位苏联天文学家的意见，起初几次相隔时期较远的爆发是重要的；以后期间变短，幅度也变小了；最后由基本上不重现的新星演化到天鹅 SS 型的变星。像 1942 船尾座新星便是一颗幼年的新星，在它起始的几个爆发里，变幅达 18 星等至

20 星等;另外一颗,如罗盘座 T 星,将近它的最后阶段。但是上面所说的不过是一种尚待证实的理论,也可能被观测所否定。

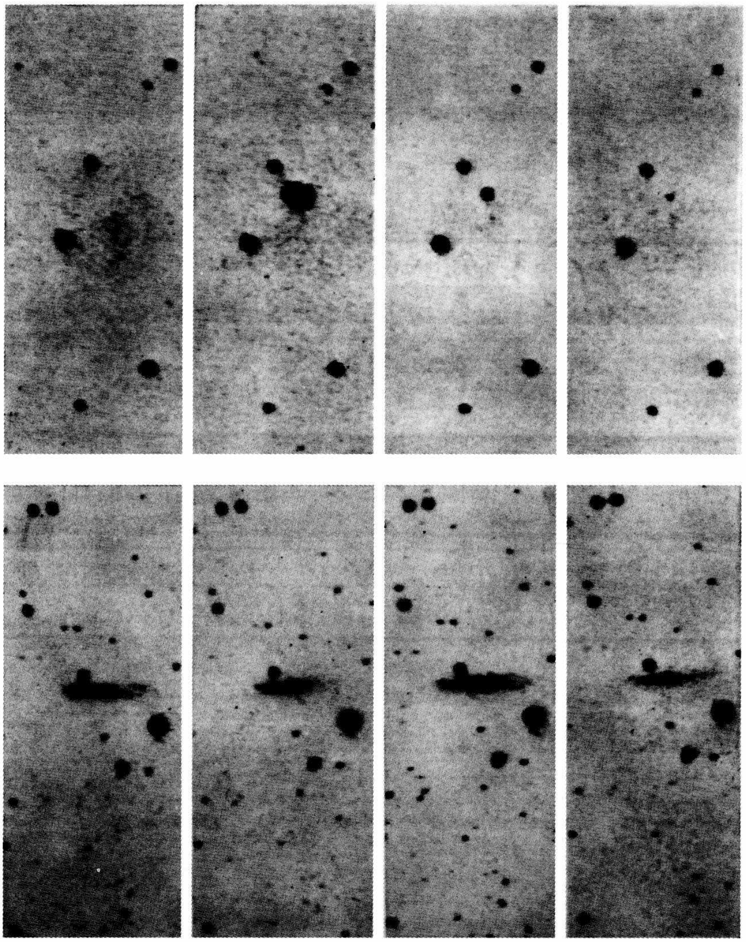


**图 704　两颗超新星(负像)**

1937 年所观测的。上图是小星云 IC4182 里的超新星,在爆发前也难在照片上看出,这些照片分别是在爆发前、极盛期和衰歇期所拍照的。下图是小旋涡星云 NGC1003 里的超新星。由左到右逐渐消失,以致不见了。

**超新星**　人们在旋涡星云里寻找新星,发现了一种比典型新星更为明亮的新星,它就是我们所要介绍的超新星。我们已经发现 50 多颗超新星,在极亮的时候,它们可以达到它们所属的旋涡星云整体那样明亮。它们的亮度等于两亿个太阳或 1 000 个新星那样明亮。图 704 表示一颗超新星在小的河外星云 NGC1003 内的爆发情况〔1963 年 9 月从用 5 米口径反射望远镜给河外星云 M82 拍摄的照片上发现这个星云中心产生了巨大的爆发,喷射的物质被抛射到 1 万光年以外,这些物质足够形成 500 多万个像太阳这样的恒星,这是至今已知的宇宙间最大的一次爆发。参看《天文爱好者》月刊 1964 年 1 月号。——校者注〕。

根据光变曲线,可将超新星分为两类。第Ⅰ类光变很规则:开始每天增亮 0.5 星等至 0.2 星等,不及一般新星快,经过一个相当突出的极大,继后又每天减亮 0.2 星等至 0.5 星等(图 705)。

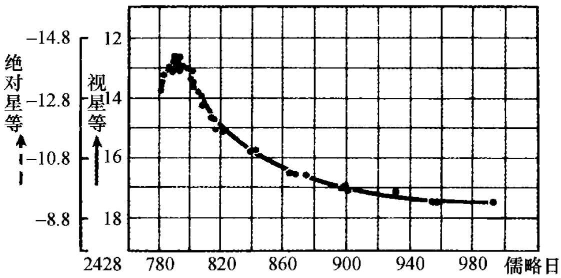



**图 705 䗁超新星的视星等($m$)和绝对星等($M$)的变化曲线**

这颗星于 1937 年出现在星云 NGC1003 之内,参看图 704 内的 4 幅图($M$ 内已加入巴德的改正数)。

第Ⅱ类超新星和第Ⅰ类不同之点,主要是减光缓慢,特别是在下降阶段里,光亮的起伏变化缓慢。这两类超新星的光谱很不相同。

现已拍得 5 颗第Ⅱ类超新星的光谱,基本上和新星的光谱没什么差别。这样的光谱像是连续的,在爆发时温度很高,接着温度降低,有非常宽的吸收和发射谱线出现。经相当可靠地确证,它们是属于氢和电离钙的谱线。膨胀速度(5 000 千米/秒)显然比新星大些。

我们已经有 9 颗第Ⅰ类超新星的光谱,对它们进行解释比较困难。光谱里有非常宽的发射光带,除了在 6 300 埃和 6 363 埃处的氧的"禁戒"谱线之外,其余的谱线都还没有得到确证。如果在第Ⅰ类超新星里所观测到的发射光谱,和在第Ⅱ类超新星以及新星里所观测到的有着同样的来源,那么这些大气膨胀的速度当是很大,约有 10 000 千米/秒。

第Ⅱ类超新星比第Ⅰ类大约明亮 10 倍。第Ⅱ类的亮度——绝对星等相当于－16.0。超新星在 25 日内所发的辐射,等于太阳在 2 000 万年所发射的能量。

超新星的现象无疑是一种灾祸式的现象,好像星的本身要被毁掉一般。至少有三颗银河新星是超新星,这便是:1054 年在金牛座出现、中国历史上有记载的新星〔按《宋史》记载:"至和元年五月乙丑(1054 年 6 月 10 日)客星出天关(金牛座 ζ 星)东南,可数寸,岁余稍没。"——译者注〕,1572 年第谷看见的新星,1604 年开普勒观测到的新星。

巴德曾经绘出 1572 年和 1604 年的两颗新星的光变曲线。1572 年在仙后座内出现的新星,第谷描绘得很精确,我们容易把他的观测结果表示为现在的星等。第谷于 1573 年所发表的结果载于他的《新星论》中。下表记载了这些结果和巴德的解释:

| 日期(儒略历) | 第谷的观测记录 | 位相(日) | 星等 |
|---|---|---|---|
| 1572年11月15日 | 和金星一样亮 | 0 | −4.0 |
| 1572年12月15日 | 和木星一样亮 | 30 | −2.4 |
| 1573年1月15日 | 较木星稍暗,比1等星明亮很多 | 61 | −1.4 |
| 1573年3月2日 | 和1等星一般亮 | 107 | 0.3 |
| 1573年5月1日 | 和2等星一般亮 | 167 | 1.6 |
| 1573年8月1日 | 和仙后α、β、γ、δ一般亮 | 259 | 2.5 |
| 1573年11月1日 | 和4等星一般亮 | 351 | 4.0 |
| 1573年11月15日 | 和仙后χ一般亮 | 365 | 4.2 |
| 1574年1月1日 | 比5等星更亮 | 412 | 4.7 |
| 1574年2月15日 | 和5等星一般亮 | 457 | 5.3 |
| 1574年3月 | 不能见 | 485 | — |

图706表示这颗新星的光变曲线,并和开普勒星以及1937年在星云IC4182(图704)所观测的新星的光变曲线进行了比较。三条曲线的平行情况很令人注目。这三颗星都属第Ⅰ类超新星。

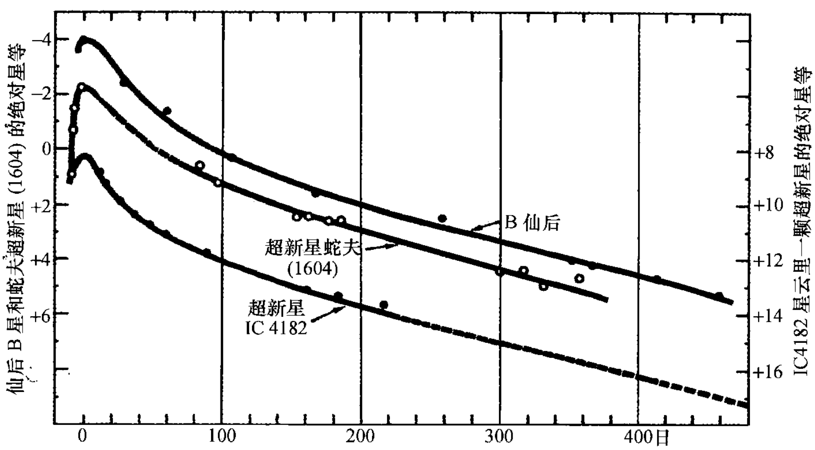



**图706 巴德论文里的三条曲线**

表示三颗新星的光变曲线的类似情况,这三颗新星是第谷于1572年在仙后座内所观测到的,开普勒于1604年在蛇夫座内所观测的以及1937年在星云IC4182(参看图704)里所观测的超新星。

巴德曾寻找1572年超新星爆发所产生的星云气,但是没有找到。开普勒新星留有星云气,但很暗弱。人们对1054年新星区域的系统研究证明,气体星云NGC1952——以蟹状星云(图762)得名——事实上就是这颗新星所遗留的残余。巴德曾经测得它的膨胀率是每年0″.2。这个星云现在的范围是150″,于是算出,开始膨胀距今已有750年了。确切的计算说明,爆发期当在1090年。我们可以说,这和中国古代历史记载的1054年是相合的。事实上,对小型弥漫物膨胀的测量是困难的。天文学家曾经把这个直径上的膨胀拿

来和视向速度(每秒为－1 120 千米)加以比较。使用求英仙新星的距离的方法,求得这颗超新星的距离是 1 200 秒差距。它达到惊人的亮度,约等于 2.5 亿个太阳(绝对星等为－16)。

超新星出现的频率是难于估计的,这是因为我们观测到的数目还很少。兹威基(Zwicky)估计,平均每 300 年内,每一星系里有一颗超新星爆发。但是这数字随星云而有差异,例如在我们的银河星系里,9 个世纪内观测到 3 颗,这与兹威基的估计是相合的;但是在另外两个星云里,50 年间我们却观测到两三颗,且有两颗是同时爆发的。在结构松散的旋涡星云里,频率似乎还要大些。

要想解释这种宇宙间最伟大的爆发现象,我们所知道的事实还太少。现在只介绍几位美国天体物理学家对此现象的见解。闵科夫斯基(Minkowski)根据钱德拉塞卡(Chandrasekhar)的意见,主张一颗质量过大的星是不稳定的,为了维持稳定,会把它多余的质量抛掷出去,剩下的便形成一颗坚实的核。在这种情况下所发出的能量便可达到超新星所需的数量级。兹威基的理论比上述理论还要彻底。他认为,超新星爆发时所演成的光明现象是由一颗寻常星崩溃成为一颗简并星所引起的。那里物质的原子核互相接触,星的全部物质密集到仅占直径 20 千米的体积内。这种新形态下的物质密度异常之大,一立方厘米有一千亿千克质量之多。在这种情形下,电子嵌在核内,造成中子,但这只不过是一种玄想,很难得到观测的验证。宇宙这个伟大的实验室,富有多么远大的前景啊!

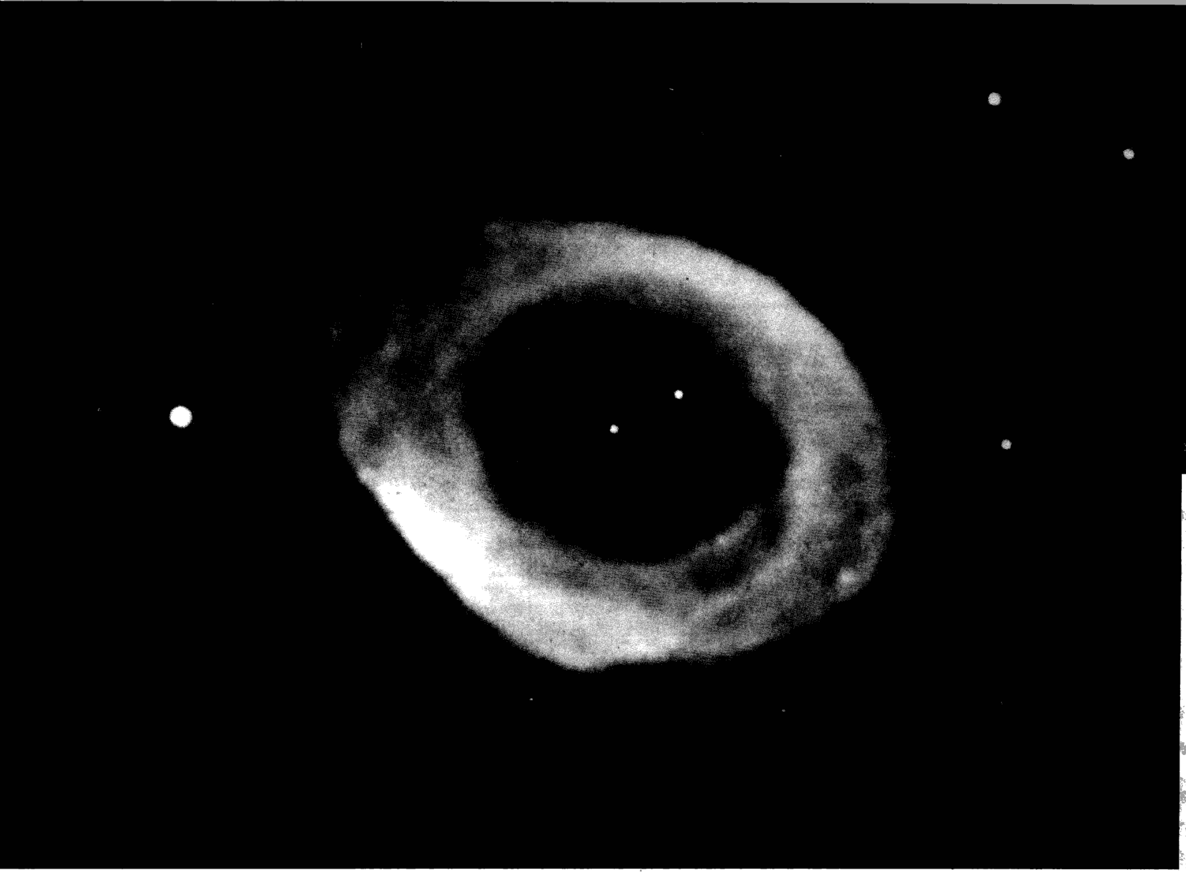


图 707　天琴座环状星云(NGC6720)

环状结构中心有一颗星是它的特征。这是热星在过去从中心所发放的气壳。其他几颗星与星云没有联系,也许和我们更接近一些。

## 第五十一章

# 行星状星云——沃尔夫-拉叶星

新星周围处于膨胀中的星云使我们联想到另外一种天体,即行星状星云,它的名称就说明了它的形态。这些深浅不同的、弥漫的蓝色小斑点,像是天王星、海王星那样的远方行星。但是在恒星间,它们是固定的,很久以来,人们便发现它们具有星云的性质。

现在叙述一个最有名的、同时也是最容易观测的行星状星云,那便是天琴座环状星云(图 707)。星图上表示,它的位置是在银河的美丽区域里,在天琴 β 和 γ 两星之间。一架

小的8厘米口径的望远镜便可看到这个微光的小环。它的形状像小孩玩的橡皮圈，又像从火车头喷出来的气环。一架比较大的望远镜可以看出，它是蓝色的，而且在中心处有一颗很暗的星。这颗星必须在最大的望远镜里才看得见，可是很容易拍摄在相片上，所以这是一颗很富有蓝光的因而是很热的星。

1946年，闵科夫斯基根据光谱的特征系统地搜索了行星状星云，在这以前，我们只知道100多个这样的天体，可是现在表中已经列有326个行星状星云。我们相信还有很多这类星云没有被人发现，但是这些没有发现的星云一定是很暗的。根据苏联天文学家估计，在银河星系里有6 000至10 000个。下表是最有名的15个行星状星云。

| NGC | 1975 | | 类型 | 直径 | 星等 | | 光谱 | 范围(单位:1 000天文单位) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 赤经 | 赤纬 | | | 星云 | 星 | | |
| 7293 | 22时28.4分 | −20°58′ | Ⅳ | 12′×15′ | 6.5 | 13.3 | — | 130×162 |
| 6853 | 19时58.5分 | +22°40′ | Ⅲa | 4′×8′ | 7.6 | 13.4 | — | 72×144 |
| IC1470 | 23时　4.2分 | +60°7′ | Ⅴ | 45″×70″ | 8.1 | 11.9 | $O_7$ | 94×146 |
| 3132 | 10时　5.9分 | −40°19′ | Ⅳ | 30″ | 8.2 | 10.6 | — | 12 |
| 2392 | 7时27.7分 | +20°58′ | Ⅲb+Ⅳ | 43″×47″ | 8.3 | 10.5 | — | 196×435 |
| 3918 | 11时49.0分 | −57°2′ | — | 10″ | 8.4 | — | — | 44 |
| | 15时49.3分 | −51°25′ | Ⅳ | 72″ | 8.4 | 13.6 | — | — |
| 7009 | 21时　2.8分 | −11°29′ | Ⅳ+ | 26″×44″ | 8.4 | 11.7 | 连续 | 11×13 |
| 246 | 0时45.7分 | −12°1′ | Ⅲa | 3′×4′ | 8.5 | 11.3 | $O_7$ | 104 |
| 7635 | 23时19.5分 | +61°2′ | Ⅴ | 180″×205″ | 8.5 | 8.5 | $O_7$ | 94×107 |
| 6543 | 17时58.8分 | +66°38′ | Ⅲa | 16″×22″ | 8.8 | 11.1 | OB | 10 |
| 6826 | 19时44.1分 | +50°28′ | Ⅲa | 24″×27″ | 8.8 | 10.8 | $Ob+O_5$ | 13 |
| 7662 | 23时24.7分 | +42°23′ | Ⅳ+ | 28″×32″ | 8.9 | 12.5 | 连续 | 16 |
| 3243 | 10时23.5分 | −18°30′ | Ⅳ+Ⅲb | 35″×40″ | 9.0 | 11.4 | 连续 | 20×23 |
| 1535 | 4时13.1分 | −12°47′ | Ⅳ+Ⅳ | 17″×20″ | 9.3 | 11.8 | 连续 | 24 |

这些星云的直径很有差别：最大的是宝瓶座内的耳轮星云，它的直径(12′×15′)达到月亮直径的一半；其次是哑铃星云，因为形似哑铃得名(图708)，位置在狐狸座内，范围是4′×8′；枭鸟星云(图709)在大熊座内。还有许多行星状星云因为太小，不能看见它们的圆轮，它们的性质只能从它们特有的光谱得知，闵科夫斯基所寻得的新星云便属于这一类。

我们将可以看见圆轮的行星状星云分为确定的几类，可是这样的分类法有着相当的困难，因为有些行星状星云的形状确是太奇特了。

第一类是环状星云，如像天琴环状星云那样。这一类占有已知结构的星云的29%。它们确是一团气泡，这团气泡外面是两个球状或椭长的层状物，中央有一颗星。这团气泡的内层表面和星的距离有远近的不同。如果这里边的一面和星接触，我们便只能看见一



图 708　哑铃星云

这三幅照片的露光时间逐渐加长，表现出中心部分比边沿部分更明亮。

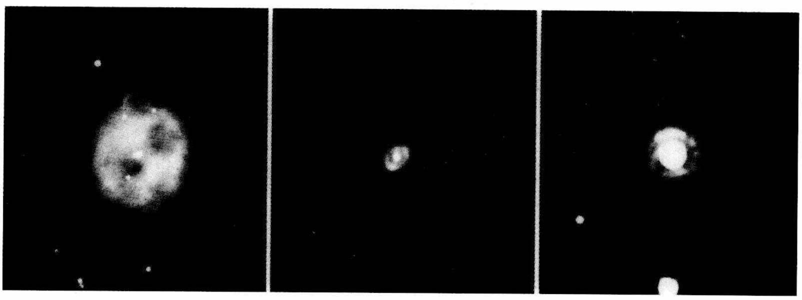


图 709　三个行星状星云

(1) NGC3587 在大熊座内，因与枭鸟形状相似又叫枭鸟星云，中心星 14 等，范围宽广约占 200″；(2) NGC2392 在双子座内，中心星 10 等，环的外径达 45″；(3) NGC3242 在长蛇座内，中心星 11 等，暗淡的外晕的直径达 40″。

个均匀的圆轮，行星状星云 23%属于这第二类。还有约 38%属圆轮结构复杂的一类，哑铃星云和夜鹰星云便属于这一类。形状特殊如容克希尔星表 320 和 NGC6210 便无法分类。

在解释行星状星云以前，我们试从摄谱仪里去研究它们的光的性质。图 710 代表一幅用无缝摄谱仪所拍摄的照片：光谱里并列着星云的几个像，每一个相当于某一波长的辐射。

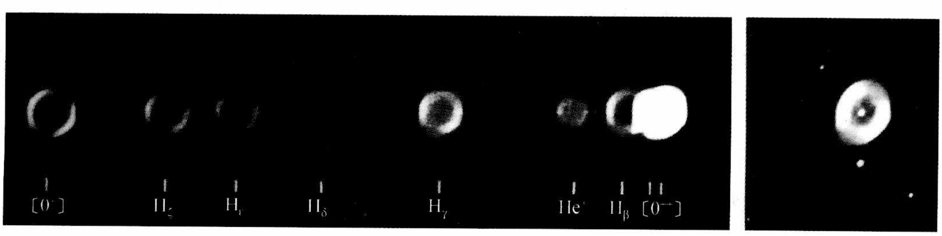



图 710　天琴环状星云的光谱

伯洛里兹基(Belorizky)用无缝摄谱仪拍摄。注意借电离氦 $He^{+}$ 的所拍摄的象特别小。右边照片是用同一望远镜去掉棱镜所拍得的照片。

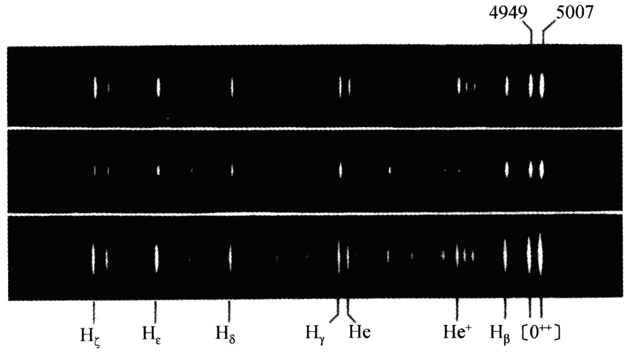



图 711　三个行星状星云的光谱
自上至下分别为 NGC7662、NGC6543、NGC3242。NGC6543 的电离氦谱线远不如在其他两星云的光谱里那样显著。

如果我们用有缝摄谱仪，我们便得到一个典型的有许多谱线的发射光谱（图711）。对这些光谱的解释是天体物理学家的一个难题。这些谱线有几条很容易确认为氢的谱线（巴耳末系），还有另外一些无法确认的谱线，其中有几条是这光谱内最强的：例如，两条青色谱线 4 959 埃和 5 007 埃，以及在 3 726 埃和 3 728 埃处的紫外双重谱线。50 年来，这几条谱线成了天文学上的疑谜。我们说过，太阳的几条谱线的确认和一种新的元素（氦）的确认吻合，使人在空气的稀有气体内发现了这种原子。科学家对于这些未知来源的星云谱线也作了类似的假定，可是“氙”这一元素却没有在地球上找到。

物理学家很快就了解元素周期表中已经没有适当的空位来安放这种假定的元素。虽然那时的周期表里还有几个空白，可是那些暂时缺席的元素的性质是可以预见的，没有一个能够发出像星云那样的谱线。直到 1925 年美国天体物理学家鲍里（Bowen）才确认了这些谱线：$N_1$ 和 $N_2$ 两条青色谱线是双电离的氧原子 $O^{++}$ 所发出的。人们之所以不能把它们和已知谱线对照而得到确认，以致等待了 50 年，那是因为这些青色谱线是不能在实验室里制造出来。在通常的情况下，这些谱线叫做“禁戒线”，只有在特殊的情况下才会出现。为了了解怎样才会产生禁戒谱线，我们需要讨论一下双重电离氧原子的结构。这原子可能有各种状态，大多数状态是很不稳定的，因此原子受激发达到这样一个状态的时候，只能维持到千万分之一秒，接着便回到较低的能量状态。这样，原子便发射一条容许谱线。还有另外几种比较稳定的状态，当原子受激发达到这些状态时，只能维持十分之一二秒钟，接着回原到较低的能量状态并发出一条禁戒谱线。但是要完成这种瞬间的发射，在这时间内，原子需要不受外来原因的干扰，如和另外原子碰撞之类的干扰。要使在 1/10 秒（亚稳状态的平均时间）时间里没有碰撞发生，压力必须非常小。这便是异常稀薄的星云里的情况，在实验室里，即使在可能实现的最低压力之下，碰撞也会太多了。

鲍恩计算能级的方法实在是很复杂的，不能在此叙述了，但这方法是个很大的成就。鲍恩不但解释了双重电离氧 $O^{++}$ 的 4 959 埃、5 007 埃、4 363 埃等几条谱线，还说明了单电

离的氧 $O^+$ 的 3 726 埃、3 728 埃两条谱线以及硫和电离氮的谱线，这个理论也应用于因子性氧而生的夜天光的谱线。

我们可以把这漫长而且深奥的研究归纳成下面的这个结论：行星状星云是由氢、氧、氮、硫等气体所构成的，但是处在一种稀薄状态之下，比实验室里最好的真空还要稀薄。我们所造的氖灯，里面的压力是 0.1 毫米汞柱，行星状星云比这种情况还稀薄得多，可是就是这个光源才最类似行星状星云的光辉。霓虹灯里含有氖、氩和汞蒸气等，它们的光辉是由几千伏特的电压下受放电的激发而形成的。

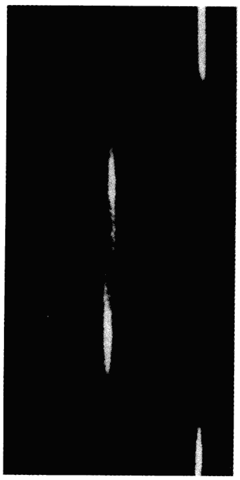


**图 712　星云 NGC7662 里氧的禁戒谱线 4 959 的复杂结构**

这张照片表现出行星状星云在膨胀。由谱线红的一边求得远离速度是 11 千米/秒。平均说来星云是向我们接近，它的膨胀速度是 22 千米/秒。

星云里发射的机制和这个是相类似的，但激发原子的不是电子，而是中央星的紫外辐射。这种机制的完全理论是由荷兰物理学家赞斯特拉（Zanstra）所提出的，他说只有在中央星很热的情况下，星云才能发光，而且星云的亮度随中央星的温度增高而增高。所以，由星云的已知的亮度便可以计算出中央星的温度。这样求得的数字是从 30 000℃ 到 100 000℃。要使氧原子失掉两个电子，需要很大的能量，所以给出激发力量的星应发出紫外远区的辐射。

再谈星云的另外一些特性。在图 710 内，我们发现天琴星云光谱里某些单色像特别小，例如相当于 4 686 埃电离氦的象。当然，我们可以假设在外层没有氦原子存在，但最好是假设它存在而没有得到激发，因为所有的紫外辐射已经被中部的物质吸收了，其所以缺乏光亮，不是由于没有物质，而是由于没有激发的缘故。

有缝摄谱仪表现出来的谱线是双重的（图 712），我们可以把这种现象解释为星云的膨胀，膨胀的速度不大，数量级是 10 千米/秒至 50 千米/秒，可是比起由古代新星而来的星云，这数值就大得多。但在拍摄到的星云的像上，因为这些天体太远，由膨胀而增加的程度总是观测不到。

行星状星云无疑是很明亮的，这从它们在天空的分布可以知道。它们差不多全在银河附近，而分布在其他区域的少数星云，都位于太阳的附近，它们的角直径也特别大。

我们对于行星状星云的距离还很不清楚，但知道它们差不多都是很远的天体，一般都比 1 000 秒差距或 3 300 光年还远。

**沃尔夫-拉叶星**　1867 年，沃尔夫（Wolf）和拉叶（Rayet）在巴黎天文台发现一些光谱特殊的星。一般恒星的光谱有许多吸收暗线衬托在连续背景上面，可是沃尔夫-拉叶星的

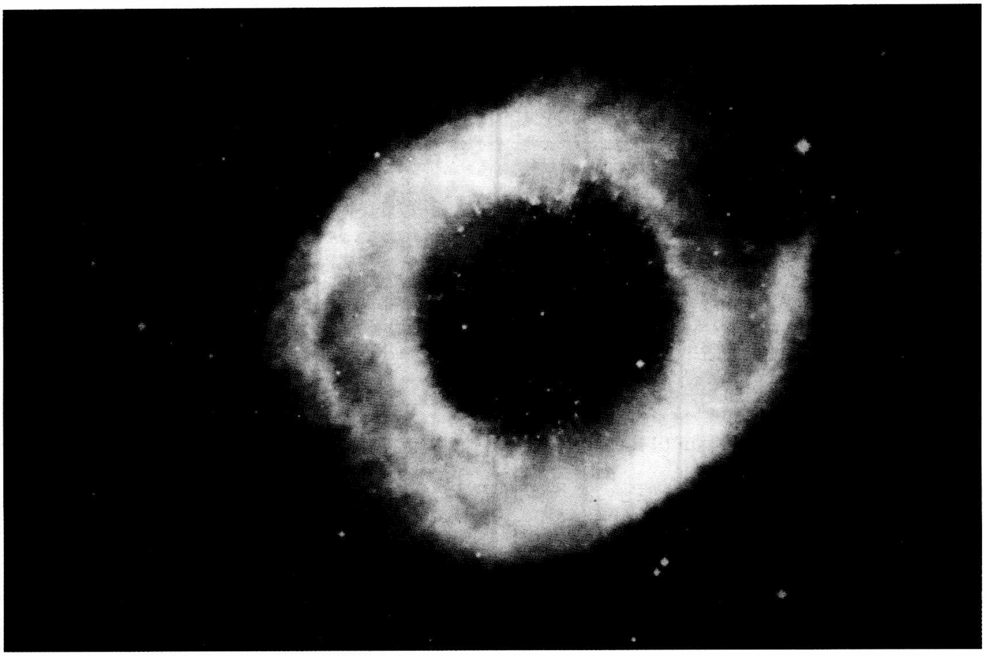


图 713　**耳轮星云** NGC7293

宝瓶座内的美丽的行星状星云。注意气体的精细结构，好像有类似蟹状星云(图 762)的纤维结构，但沉没在广漠的星云气里。

光谱，却表现出一些强的发射光带，混在连续光谱上面(图 714)。我们发现，这种类型的星约有 80 颗。它们的符号是 WR 星。

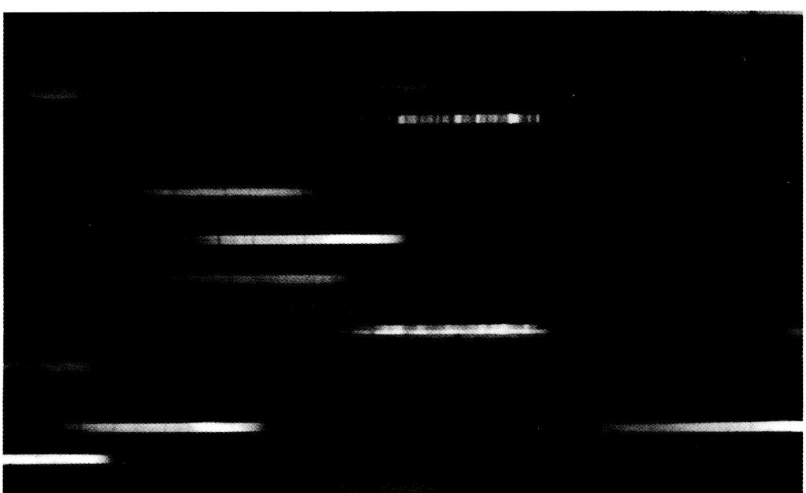


图 714　**富有沃尔夫-拉叶星的天鹅星区，附近中心有两颗**

这些星显然是属于O型。上面所说的这两种情况，都表示这类星是热星，可是它们的温度却不大明确，大约在10 000℃至100 000℃之间。在O型星里造成吸收谱线的原子以及在WR型星里造成发射谱线的原子都是相同的，这些都是高度电离的原子。在这样热的星里产生高度电离，是不足奇怪的。

对WR型星的分类是很困难的，因为其中大多数的性质都是很特殊的。根据最近的研究，WR星可以分为化学成分不同的两类：一类多氮，另一类多碳和氧。

第一类叫做WN，N是氮的符号。这类星除了具有两类公有的氢和氦的谱线之外，还有两三度电离的氮的强谱线。第二类叫做WC，其中两三度电离的碳的谱线特别多，还有高度电离的氧的谱线。

从光谱的仔细研究中可以说明以下这个比例：每有100个氦原子，在氮星里就有5个氮原子，在碳星里就有6个碳原子、2个氧原子。

碳星里没有氮，多数的氮星里却有极少量的碳。有几颗特殊星的组成则介于这两类星之间。

这种化学成分上的差异具有重大的意义，因为这表示原子核的反应在这两类星里是不同的。当我们谈到恒星的化学组成时，我们还要仔细讨论这个问题。

由于我们发现几颗WR星是双星，因此我们对于这些星的认识便大有进步。

1940年，威尔逊(A. Wilson)发现，HD219460号是一颗WR星，它是差不多相等的、相距1″.2的双星。在这颗星的附近，我们还于1900年观测到另一对类似的双星。天文学家仔细研究观测记录便发现一个抄写上的错误：这两对双星确是一对，而且在这40年间，这对双星没有移动。这种轨道运动不显著的现象，可能是因为双星彼此相隔很远引起的，它们的距离等于太阳和海王星之间距离的100倍。对应于这样远的距离，周期当是两万年。由于观测期不够长，还不足以发现轨道上这样缓慢的运动。

威尔逊的发现引起许多天文学家去追究某些WR星是不是分光双星。这样的追究是困难的，因为WR星的视向速度因谱带宽不能确定而难以测定。这些星的双星性只能在伴星很亮而且有吸收谱线的时候才能发现。自1947年以来发现了十几对分光双星属于WR星，其中有几对经过仔细的研究。我们甚至还认识到有几颗是交食双星。由这些研究所得的结果表明，WR星的质量大约是太阳质量的10倍，所以是质量大的星，但是还不及O型星的质量那样大。

WR星的发射谱线很宽，例如4 686埃处的电离氦谱线的宽度比实验室所观测到的约宽几千倍。对这种情况的解释是这样的：假设有物质流很快地不断地从星射出，这些物质

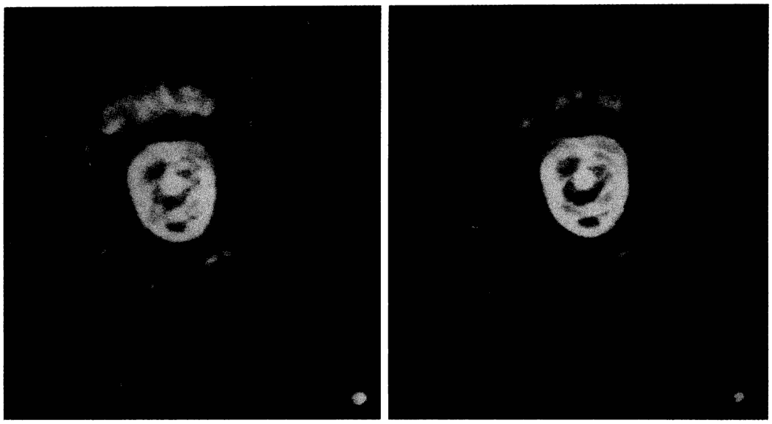


图 715　NGC2392
双子座内的行星状星云，难道不像一个小丑吗（帕洛马山天文台的两色照片）？

以很大的视向速度向我们射来，于是谱线因多普勒效应向紫端移动；接着这些射出物像雨点一般垂直地落回星球去，于是又使谱线向红端移动。当然，我们也观测到从旁面射出而不引起多普勒位移的物质。摄谱仪同时观测到有这些运动的各种光波，于是谱线因互相拥挤而变宽，且可由谱线的宽度推出这些射出物的速度。它们的速度是很大的，大约是每秒几千千米。从 WR 星喷射物质的机制看来，它和新星以及行星状星云是接近的。这三种天体的相似之点是很多的。例如，新星在衰歇期里常有典型的 WR 星的光谱，可是 WR 星却没有星云谱线。WR 星周围可能也有星云环绕着，可是这星云的范围比行星状星云和衰歇期的新星的气壳小而且更密，所以在 WR 星内我们不能观测到星云的壳和很稀薄的气体所特有的星云谱线。

行星状星云的核和 WR 星很相近，这些星的谱线相当纤细，如斯温兹所证明的那样，常属于碳类和氮类的两种 WR 星。



图 716　猎犬星团 M3

# 第五十二章

# 星　　团

**银河疏散星团**　我们说过，有些星组成集团，我们称它为星团。大家都认识昴星团，它是由 7 颗至 9 颗肉眼可见的星所组成的，它们所占的空间很小，月亮在它们前面经过时，可以把它们掩盖住一半。这个星团在双筒小望远镜里，我们还可以看得见别的许多小星；在大望远镜里，特别是在照片上，可以显现好几百颗恒星(图 717)。

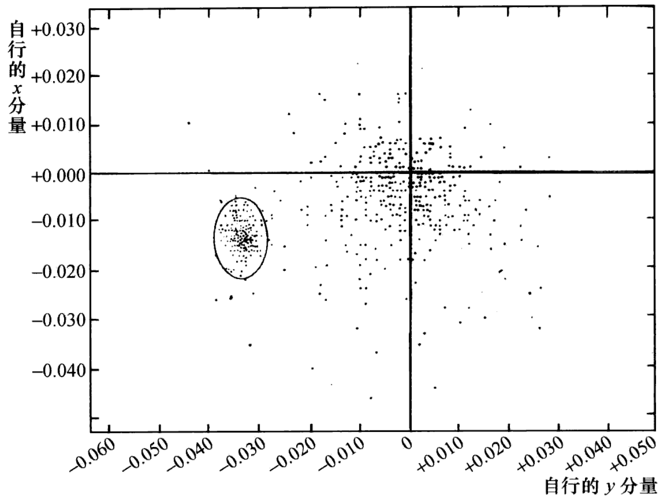



**图 717　昴星团**

露光时间很短的照片，图上亮星突出在恒星的背景上面，且有纤细的星云气出现。将这张照片和图 719 加以比较。

这个星团无疑是空间里的一个集团，而不是因透视的缘故偶然碰巧看上去在一个方向上的形态。离昴星团不远，金牛座中央的星和毕宿五，又组成另外一个比较疏散的集团，叫做毕星团。

再介绍一个有名的星团——巨蟹座的蜂巢星团（图 718）。这几个星团都离我们相当近，表现出它们是由个别星汇聚而成的。而对于远的星团，成员星比较密集，例如，英仙座双星团 h 和 χ，肉眼看上去好像是两个星云状的小光点，但是它们的星团性质已经在小望远镜里表现出来，每一星团都是几百颗星汇聚在天空一个很小区域里的集团（图 584）。

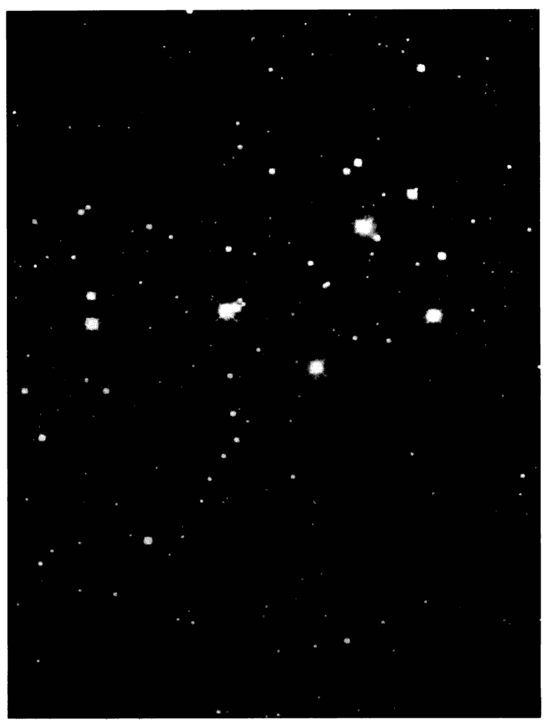


**图 718　在这幅图上每一颗星有一个代表的点，坐标是自行的两个分量。蜂巢星团的星在左边小椭圆的面积里面。这样就可确切地决定哪些星是属于同一星团的星**

恒星聚成集团不是特殊的现象，类似以上所说的星团，计有 350 多个。除

了上面所说的疏散星团之外，还有另一类叫做球状星团。这类星团是由几十万颗恒星密集而成的，其密集程度之高以至中心部分不能分开，只有疏散星团才容易分开成个别的星星。

**14 个银河疏散星团表**

| NGC | 1975 | | 类型 | 视径 | 真径（秒差距） | 星数 | 距离（秒差距） | 名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | α | δ | | | | | | |
| 869 | 2 时 17.2 分 | 57°1′ | f lb | 36′ | 15 | 70(62) | 1 320 | 英仙 h |
| 884 | 2 时 20.6 分 | 57°0′ | el-2b | 36′ | 15 | 40 | 1 320 | 英仙 χ |
| 昴星团 | 3 时 44 分 | 24°2′ | c lb | 120′ | 5.5 | 127 | 70～140 | |
| 毕星团 | 4 时 18 分 | 15°34′ | e 2a | 400′ | 4 | 80(63) | 37 | |
| 1912 | 5 时 27.0 分 | 35°49′ | e 2b-a | 20′ | 5 | 100(32) | 870 | M38 |
| 2168 | 6 时 7.4 分 | 24°20′ | e 1-2b | 40′ | 9 | 120(34) | 840 | M35 |
| 2244 | 6 时 31.0 分 | 4°53′ | cl-20 | 40′ | 14 | 30 | 1 330 | 麒麟 12 |
| 2323 | 7 时 1.9 分 | −8°19′ | e lb-a | 10′ | 3 | 100(7) | 820 | M50 |
| 2632 | 8 时 38.6 分 | 20°4′ | d 2a | — | 4 | 62 | 155 | 蜂巢星团 |
| 2682 | 8 时 50.0 分 | 11°54′ | f 2-3a | 15′ | 3 | 86 | 800 | M67 |
| 6705 | 18 时 49.7 分 | −6°18′ | g 2b-a | 10′ | 6 | 200(92) | 1 300 | Mll |
| 7243 | 22 时 14.2 分 | 49°45′ | d 1b | 20′ | 5 | 40(29) | 750 | |
| 7654 | 23 时 22.8 分 | 61°28′ | e lb-a | 12′ | 7 | 120(33) | 1 300 | M52 |
| 7789 | 23 时 55.1 分 | 56°35′ | e 2-3a | 30′ | 7 | 200(17) | 1 150 | |

表中括弧里的数字是已经证实为星团的成员星的个数。

这两种星团的区别是很重要的。今天我们已经明白，疏散星团的成员类似我们周围的星，这些星团都离银河很近；反之，球状星团的成员是另一类特殊恒星。球状星团的成员叫做星族Ⅱ的星，比矮星亮，甚至比太阳附近星族Ⅰ里的巨星还亮，球状星团虽远，但天空到处都有，本章后半部分再来讨论球状星团。

再回过头来谈谈最著名的而且知道得最清楚的昴星团。自古以来，这个星团便引起人们的注意，中国人、印度人、迦勒底人、古希腊人、罗马人，以及在基督教的《圣经》里都谈到昴星团。荷马和赫西奥德(Hesiode)也叙述过昴星团。

古人认为，昴星团是 7 颗星所构成的，设想它是昴宿七和昴宿增十二的 7 个女儿〔因此昴星团也叫做 7 姐妹星团。——校者注〕，于是这 7 颗星有着 7 位姑娘的名字，中文名分别为昴宿六、昴宿一、昴宿四、昴宿五、昴宿二、昴宿增六和昴宿三。在中世纪已经有人知道这 7 颗主星之外还有别的小星，默斯特林(Maestling)于 1579 年所发表的星图上已经有 11 颗星。很敏锐而经训练的眼睛在无月光的晴夜里可以看见这 11 颗星。伽利略用他的望远镜观测到 36 颗星，1665 年胡克观测到 76 颗。这以后，在最亮的一颗昴宿六周围 1°的半径内，观测到几百颗。在这些星中特别选了两颗，以昴宿七和昴宿增十二作为 7 个女儿的父

母。昴星团经人加以仔细的研究后，我们可以说，这是天空中认识得最清楚的区域。赫兹普龙和比能迪克(Binnendijk)在来顿天文台对于昴星团做过重要的研究。赫兹普龙曾发表载有 3 259 颗星的星表，其中有 2 920 颗星的自行。这是根据具有 34 厘米口径天图式赤道仪的 15 个天文台的工作而制成的。根据这些天文台从前和现在所拍摄的照片，测量了星的长期位移或自行。这项工作的繁重可于下面这些数字里窥见一斑：所用的照片有 80 对，计有 160 张，经过 18 个人的测量。最早的照片是 1885 年在巴黎拍摄的，最近的是 1943 年在来顿拍摄的。测量和计算的工作自 1924 年至 1944 年，经历了 20 年之久。

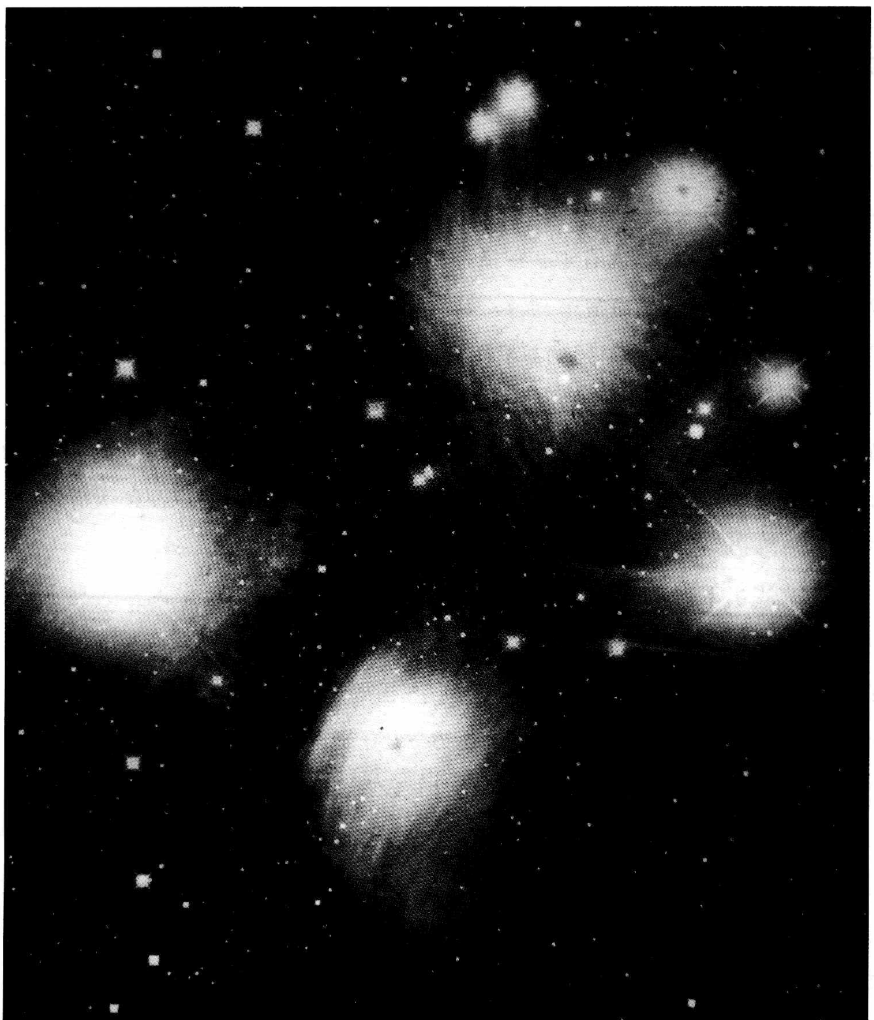


**图 719　围绕昴星团的云气**

注意星云气的复杂结构，星云只在亮星附近出现，它们被亮星照亮。

赫兹普龙所测的自行不是绝对自行，换句话说，即不是对实际不动的轴，而是对随昴星团移动的轴而量到的。在这种情况下，我们可以由星表中一颗星的相对自行为零，而认识它是属于星团的星。事实上，这些自行的测定不是十分精确的，一方面因为测量上具有误差，另一方面星团内的星彼此间也不是绝对不动的。因为这些缘故，我们可以说，自行小于某一极限值的星，可能是属于星团的。星团内成员的相对运动的确很小，设想一颗星对于别的星的周年自行是 0″.020，在 1 000 年间改位 20″，100 万年间改位 7°。在 100 万年前，这颗星也许不属于昴星团，而现在成为一员也很可能不是出于偶然。因此，我们有很充分的理由假定这个星团很早业已存在，所以用自行来判别一颗星是不是属于星团，是一个很好的办法。赫兹普龙研究了 2 920 颗经过测量的星，只留下 291 颗认为可能是星团的成员。这种结果好像是很奇怪，但是如果我们想到，一切亮星都属于星团，特别是暗星形成了背景，而且在昴星团附近暗星特别丰富，我们便不会感到奇怪了。

这项工作通过对昴宿六附近恒星颜色的测量而完成，1 246 颗都经过这样的研究。这一研究证明，昴宿六星的 1°内有 190 颗星是星团的成员，它们都属于主星序里的矮星。最亮的星，如昴宿六、昴宿七、昴宿一、昴宿四都是 B 型星，顺着亮度的次序有 A、F、G、K 各型的星。比能迪克作了这个星团的赫罗图(图 668)，在颜色或者光谱型和绝对亮度之间，发现有极密切的关系。仔细研究这条曲线表明，在两个确定的区域里的星是太暗了一些，对于距离星团较远的星也有这样的现象。我们可以设想星团前面或者邻近有吸光物质的存在以解释这个现象。这样对所讨论的星的亮度加以校正之后，赫罗图便大有改进，这使我们想到，亮度和颜色的关系确切可靠，就和许多物理学上的定律一般。

图 668 表现出下列几个反常现象。有一些星对于它们的颜色来说是太亮了，也许这些是双星，理由是容易说明的。假设一对双星颜色相同，因而亮度也是相同的，每颗星在孤立的情况下，位置恰好在赫罗图上；但是如果把两颗混在一起，我们便把它当做是一颗两倍亮的单颗星，它的位置当然跑到图的上方去了。这种发现双星的奇特方法，已经由观测证实，有几对分光双星或目视双星就是这样被发现的。

为完成对昴星团的叙述，我们还必须说明，这些星星都沉浸在由尘埃和自由原子所形成的物质当中(图 597、719)，这些物质在以后的有关章节里还要谈到。也许我们所说的这些吸光物质和星团本身的物质是有联系的。昴星团里最明亮的星照耀着比较接近的物质，这使我们看到，这些物质是明亮的。

昴星团的距离已经由几个方法测定，可惜不大准确。从视差和自行推出的距离大约是 77 秒差距。借视星等与绝对星等之差(距离模数)容易计算出星的距离。如果以视星

等作为横标而绘赫罗图，我们便容易定出距离模数，因为这个长度便是将这赫罗图垂直向上移动，使它和根据已知距离的星所作出的标准赫罗图相重合时所移动的距离吻合。对于昴星团来说，这个移动的距离是5.72，和这模数相当的距离是140秒差距。这个数字和上面那个数字显然很不符合，我们还不大明白，这种不符合的原因究竟是什么。也许昴星团星的本身特别明亮，如果它们所含的氢特别丰富，这便可以得到解释。昴星团所占的直径约有1°，我们现在可以计算它的真正的范围，大约有4秒差距。它的成员估计约有400个，星与星之间的平均距离大约是0.4秒差距即1.3光年。这样大的密度大约是太阳附近星的密度的100倍，但却不算过于拥挤。

还有许多类似昴星团的星团，但是它们的结构却大有差异。特朗普勒曾对星团做过整体的研究。他按它们的形态分为四类。

前三类的星可以和背景的星分开，只是中央的聚度有程度上的差别。

Ⅰ类中央聚度很大，Ⅱ类聚度平常，Ⅲ类无显著的聚度。最后这一类是难于和周围的星分离的星团。这样的分类法显然不能表示星团所具有的特性，而是取决于星团的距离与位置。同是一样的星团，如果距离我们很远，看上去就更密集些；如果这星团所投射的天区的星少些，看上去就更突出一些。

特朗普勒把昴星团列为Ⅱ类，英仙星团列为Ⅳ类。

分辨星团还有一种更有趣的方法。我们说过，昴星团里只有矮星，最热的星是B5型。许多星团都属于这一类型，例如英仙χ星团。也有含巨星的星团，可是为数很少，只有NGC6939含11颗巨星和2颗主星序里的蓝色星。这是一个遥远的星团，属于主星序里的星当然不止这2颗，一定还有许多矮星。星团组织上的这些大的变化是重要的，因为由这些变化可以说明，各类型的星团里星的分布可能随人们还不知道的局部因素而变化，而且只就银河区域里进行局部的研究，也不能知道各种星团里星的分布。

由星团里的星的星等和光谱型的测量可以计算星团的距离。特朗普勒星表内334个星团都已经进行过这种研究。我们仔细分析一下这种研究的结果，促使我们注意到一个有趣的问题。

一颗A0型的星如果放在距离太阳10秒差距处，它的绝对星等是0.9；如果这颗星在星团内，视星等是10.9。这就是说，它的距离使它增加了10个星等，距离模数是10。距离平方反比的定律表明，星等增加了10，距离远了100倍，所以这星团的距离应在1 000秒差距处。这种理解上的正确性，是以星光不受星际吸光的影响为依据。特朗普勒对于星团的研究证实了我们已经知道的一件事：星光是被空间的尘埃吸收的。吸收率是每

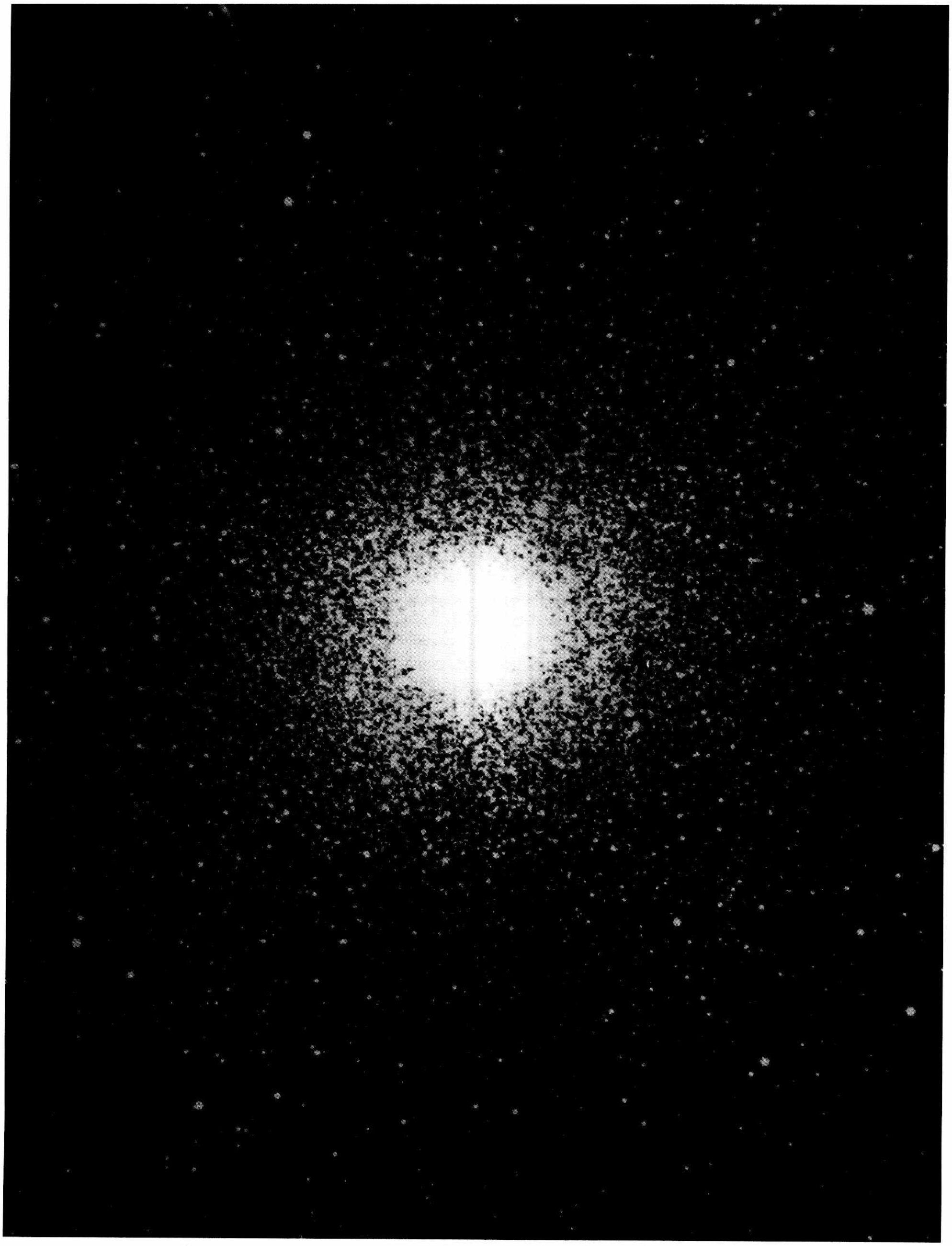


图 720 **武仙座球状星团**

由这张照片可以想象这个星团内恒星之多。最暗的星在原来的照片上，直径是 0.03 毫米。在中央，星密集到不能分开的程度（法国南方天文台 120 厘米反射镜拍照）。

1 000 秒差距 0.9 个星等。这颗星团里的 A0 型的星，星等不是 10.9，而是 11.8。反过来说，如果我们在求距离的时候忽略了吸光的因素，就会引入一个误差，而且这个误差将随距离的变远而迅速地增加。例如，对于 100 秒差距引入的误差不过是 4%，但是对于 1 000 秒差距，这误差就增大到 52%。如果我们计算一个 10 000 秒差距的星团，而忽略了星际吸光，我们所求得的距离比实际就远了 60 倍。

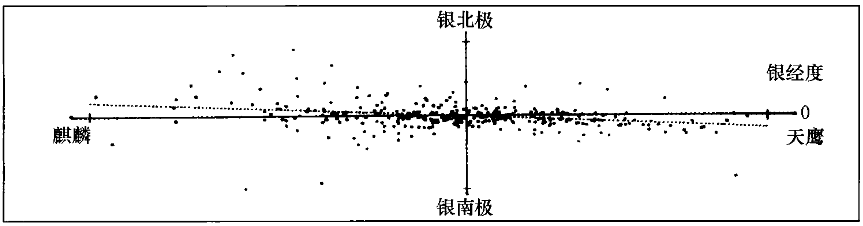
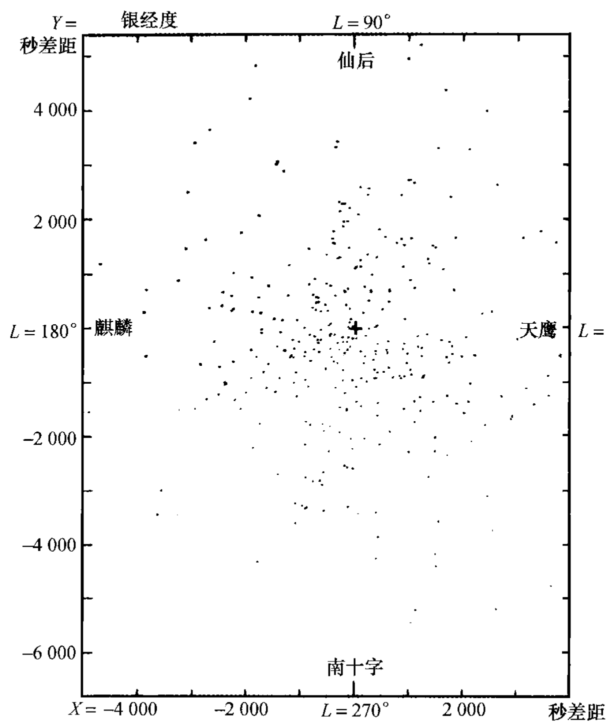



**图 721 与图 722　这两幅图表示星团在空间分布的特性**

星团都在银河平面附近，它们的中线和银河平面相交成几度的角。已知的星团都在太阳(图的中心)附近，在半径 5 000 秒差距或 1.5 万光年的圆圈之内。




星际吸光现象一向没有引起人们的注意，现在我们才第一次感到，它是非常的重要。对于疏散星团而言，将吸光的效应计入以后，距离的变化在 100 秒差距和 5 000 秒差距之间。它们在空间的分布，如图 721 和图 722，几乎全在银河平面附近。

疏散星团在银河平面内的分布表明，我们观测到的都是太阳附近的星团，而这只不过是银河系里的 1/25。

从形态和组成方面来说,银河星团是很有差异的,但是它们的大小却相差不远。例如,特朗普勒对于天空分离显著的星团(Ⅰ至Ⅲ类),算得它们直线范围的变化仅是4~6秒差距,而对于Ⅳ类星团,所求得的10秒差距是很不精确的。

在结束对疏散星团的叙述以前,我们谈一下其中一个很特殊的类型。由对大熊座里许多星的位移的精密测量表明,它们都以相等的速度平行移动。这种相同的运动是星团的一个特征。大熊星团的成员经我们发现的约有120颗星,分布在天空相当大的范围之内。

我们还知道一些以星流得名的星团(图723)。例如猎户座里60多颗星所形成的星流,毕星团是属于比星团本身大的一个星流。星流比疏散星团范围大得多。大熊星流所占的体积是平均大小的疏散星团的5 000倍。星流的成员相隔颇远,平均距离是20秒差距的数量级,不像太阳附近的星相距只有2~3秒差距。如果我们所认识的大熊星流只是其中的一小部分,那么星流里的星的密度可能和太阳附近的一样大。

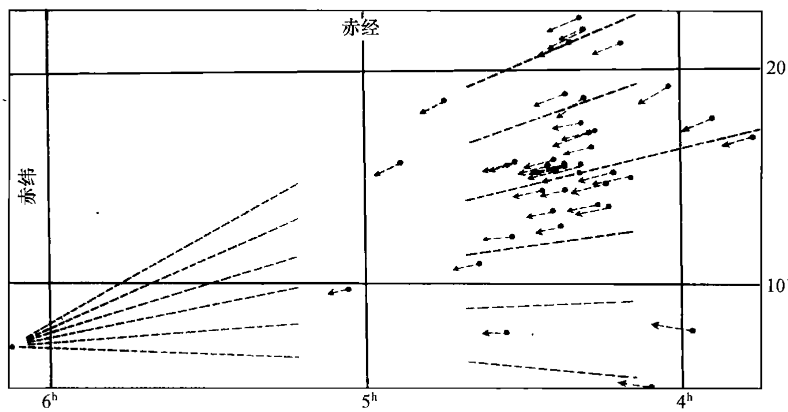



**图723 金牛座的星流**

图中的箭头代表星在5万年内的位移,所有的箭头差不多会在一点,这便是判别属于星团的星的方法。这交点便是这群星的向点。自然这不过是一种透视效应,这些速度在空间是平行的。

苏联天文学家还加入一种名叫星协的新类型,这是同一光谱型星的集团。星协分为O型和A型两种。根据安巴楚米扬(Ambarzumian)的意见,星协内的成员都有物理的联系,也许有一个共同的来源。我们认为,星协在膨胀,而且可以计算出膨胀开始的时期,因而可以推算这些星形成的年代。这样就可以说明,为什么我们发现的只是少年的星协。至于老年的,因为已经全部解散,我们无法辨识它们共同的来源了。

这种星协的见解最近经布洛夫(Blaauw)由英仙ζ星团加以证实,他因此说明,苏联天文学家的理论是很重要的。对于天蝎-人马星协,他求出膨胀的年代只有7 200万年。

在这以前还有别的天文学家，例如博克(Bok)证明，很密集的星团应该是很稳定的，星团里的星相互间的吸引力阻止它们离散。对于最疏散的星团而言，经过的时间约和我们银河星系的年龄相同；对于毕星团，大约是30亿年；对于昴星团，大约是300亿年。

**球状星团**　凡是从大型望远镜里见过球状星团的人，绝不会忘记见到的景象。照片给予我们一个优良的整体的观念，可是对于这些星团而言，照片却不能代替目视所得的印象(图716、720)。

成千上万的星密集在分不开的核心的附近，没有别的天体比球状星团更奇特的了。武仙座和猎犬座里的两个球状星团是北半球所能看见的最美丽的球状星团。

我们试研究一下这个武仙座内的星团M13(图720)的照片。中心的部分一片白，分辨不开，其中的星密集得使照相不能把它们分开，肉眼观测也还是分辨不清中央的部分。可是我们确信，它们是很多的星，因为这一部分的光具有星光的特征。每单位体积内的星数愈向外愈减少，和星的背景并无显著的界限。所以很难为球状星团规定一个直径，一般公认的数值是18′，比月轮的半径稍大一些。

计算球状星团的星数是一件很困难的事。沙普利和比斯(Pease)计算到3万颗，实际的数目绝不只这些，数量级当在10万至20万之间；在中央不能分开的部分，计数成为不可能，而且不是所有的暗星都看得见。在外面的部分，星的密度还是太阳附近的星的密度的40倍，但是在中央处密集甚紧，星与星之间的距离便像太阳系里行星与行星之间的距离一样。

**12个最亮的球状星团表**

| NGC | 名称 | 1975 | | 视直径 | 真直径(秒差距) | 摄影星等 | 距离(秒差距) | 类 | 光谱 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 赤经 | 赤纬 | | | | | | | |
| 104 | 杜鹃47 | 0时23.4分 | −72°13′ | 23′ | 45 | 5 | 6 800 | Ⅲ | G5 | |
| 5139 | 半人马ω | 13时23.9分 | −47°10′ | 23′ | 45 | 5.1 | 6 800 | Ⅷ | | |
| 5272 | M3 | 13时41.0分 | 28°31′ | 9′.8 | 35 | 7.2 | 12 200 | Ⅵ | G | 猎犬 |
| 5904 | M5 | 15时17.3分 | 2°10′ | 12′.7 | 40 | 7 | 10 800 | Ⅴ | G | |
| 6121 | M4 | 16时21.6分 | −26°28′ | 14′ | 29 | 7.4 | 7 200 | Ⅸ | F | |
| 6205 | M13 | 16时40.8分 | 36°30′ | 10′ | 30 | 6.8 | 10 300 | Ⅴ | G | 武仙 |
| 6254 | M10 | 16时54.6分 | −4°4′ | 8′.2 | 27 | 7.6 | 11 200 | Ⅶ | | |
| 6341 | M92 | 17时16.4分 | 43°10′ | 8.3 | 27 | 7.3 | 11 200 | Ⅳ | G5 | |
| 6656 | M22 | 18时34.9分 | −23°57′ | 17′.3 | 34 | 6.5 | 6 800 | Ⅶ | | |
| 6809 | M55 | 19时38.4分 | −31°1′ | 10′ | 26 | 7.1 | 8 800 | Ⅺ | | |
| 7078 | M15 | 21时28.8分 | 12°3′ | 7′.4 | 28 | 7.3 | 13 100 | Ⅳ | F | |
| 7089 | M2 | 21时31.1分 | −0°57′ | 8′.2 | 33 | 7.3 | 13 900 | Ⅱ | F5 | 人马 |

在这种恒星集团里，速度相当小，但是我们应设想，星团内的星可能互相碰撞。如果

恒星碰撞而成新星的理论是正确的，那么球状星团便成为产生新星的巢穴，可是我们只在M80的边沿上观测到一颗新星。我们现在知道，差不多有100个球状星团的星等在5与12之间。这些星团分布在全天，大多数可以同时看见。其中15个是很亮的天体，最亮的半人马ω星团是肉眼可见的。这些星团相似但并不相同，视直径的长短随距离而变化，从杜鹃星团的23′变到NGC6517的0′.05。所有的星团的形状或多或少是球状的，但是有一些扁平形态是很显著的。例如，半人马ω的最长径超过最短径20%，而对于M19来说，扁平度更大些。接近中央，星的密集率变化也很大。沙普利将球状星团分为12类，Ⅰ最集中，Ⅻ最分散。武仙座球状星团密集度是中等的，属Ⅴ类。

对球状星团的研究表明有很多天琴RR型的变星，这是我们已经说过的。在60个球状星团里，我们找到1 215颗变星，其中1 172颗属天琴RR型。所以这一类型的变星又叫做星团变星。这类变星的多寡随不同的星团而大有差异。密集率中等的星团（Ⅳ至Ⅵ类），如半人马ω有136颗，M3有164颗，这是含有天琴RR型变星最多的了。我们在别的星团里尽力寻找，也没有发现有这么多。实际上，这些变星在星团内不是最亮的，找到它们比较困难可能是由于它们本来就稀少的缘故。

这些变星使星团的距离得到很好的测定。和造父变星一样，这些变星的绝对星等可由光变周期决定。造父变星的绝对星等虽然还不太确定，但对天琴RR型变星的绝对星等我们的确了解得很清楚。对于不含有这种变星的星团，毫无疑问，这种优良的方法完全无效，那么只好用间接的方法。一种方法是，从含变星的星团的研究中所得的25颗最亮的星的绝对星等对于一切星团大约是相同的，如果假设这种性质是共有的，我们便可由此推出别的星团的距离。另外一种方法是，距离确定的具有变星的星团，直径和亮度两个特性差不多是相同的，如果假设这种性质是共有的，我们便有了第二种求距离的方法。可惜和第一种方法一样，都只能得出一个粗略的近似值。但是，由这两种方法所得的结果是相当吻合的。

在大望远镜里对球状星团作目视考察，可以看见许多红色的星。所有最亮的星都显得很红，在小星所照明的白色背景上特别突出。很久以来，人们认为这些星是巨星或超巨星，和我们在太阳附近所看见的那类星相似。今天我们才知道，球状星团的成员和分布在银河系里的星基本上是有差别的。我们已经说过有两种截然不同的星族。

由球状星团的赫罗图（图724）说明了这种差别。我们先追述一下赫罗图的绘法。每颗星可以表示成一点，这一点是两条直线的交点。水平线代表绝对星等，垂直线代表光谱型。我们说过，代表我们太阳附近的星以及疏散星团的成员都排在一条对角线附近（图

667)。这条对角线是矮星或主星序所在的一支。另外,相当于巨星之点的位置在一条水平线附近。

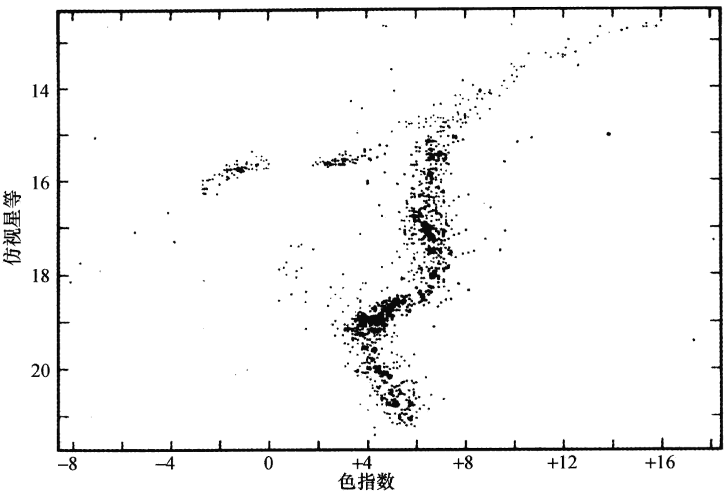



**图 724 猎犬球状星团 M3 的赫罗图**

桑德奇对于这个星团里 1 100 颗星,使用光电和照相两种很精确的方法,做了蓝黄两色的光度测量。这图上横标是色指数(即蓝色星等与黄色星等之差),纵标是黄色星等。将这幅图和图 667 比较,我们便可看出有显著的差别。这幅图明白地指出恒星有属于星族 I 和 II 两类的。

如果我们对于球状星团来绘赫罗图,结果就会绝对不同。这条曲线的描绘因光电技术的进步才成为可能。被排列的星的星等在 11 与 18 之间,而且不能拍摄它们的光谱。我们以色指数代替光谱。所谓色指数,即是照相星等和仿视星等之差,这两种星等均借光电管分别测定。图 724 是威尔逊山天文台的阿普(Arp)、波姆(Baum)和桑德奇(Sandage)对猎犬星团(M3)所绘的赫罗图。我们把这些结果移在表示星族 I 的赫罗图(图 725)上,我们便会感到,这两类星显然是有很大的差别。球状星团的成员经人识别并加以测量的,只限于最明亮的星,因此这样绘出的赫罗图下方是不完全的。这幅图是由倾斜的两分支所组成的,在最亮的红星处相接合,在暗星的方向分开。左边的一个分支包括白色星或蓝色星,其中便有天琴 RR 型变星,左边的另一分支包括更黄色的星。右边一支内红色星比红巨星还亮,可和超巨星的亮度相比拟。我们还没有发现,左边两支上有无白色星,如果真有这些星,它们应该和白矮星一样明亮。

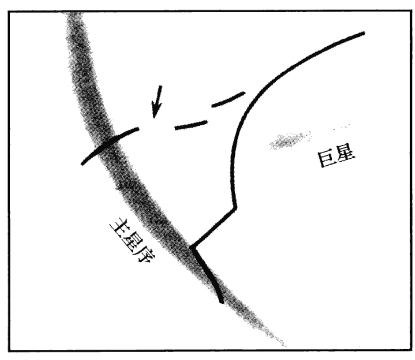



**图 725 这幅图内有两种赫罗图重合在一起**

实线表示属于星族 II 的球状星团里的星,灰色线表示属于星族 I 的太阳附近的星。星团变星的位置在图中以箭头标出。

当我们谈到恒星内部的结构时，我们便可以知道，这两类星族的成员确实有本质上的差别。

因为已经知道球状星团的距离，所以它们在空间的分布很容易知道。这些星团实际包含在3万秒差距即以10万光年为直径的球内。这球很大，包含了我们的整个银河系。这两个系统的中心相合在一处。所以我们确信，球状星团是属于银河系的，但是它们所组成的集团范围更是广阔，远远超过我们的旋涡星系。我们在讨论银河系的时候，还要再谈谈这个事实。

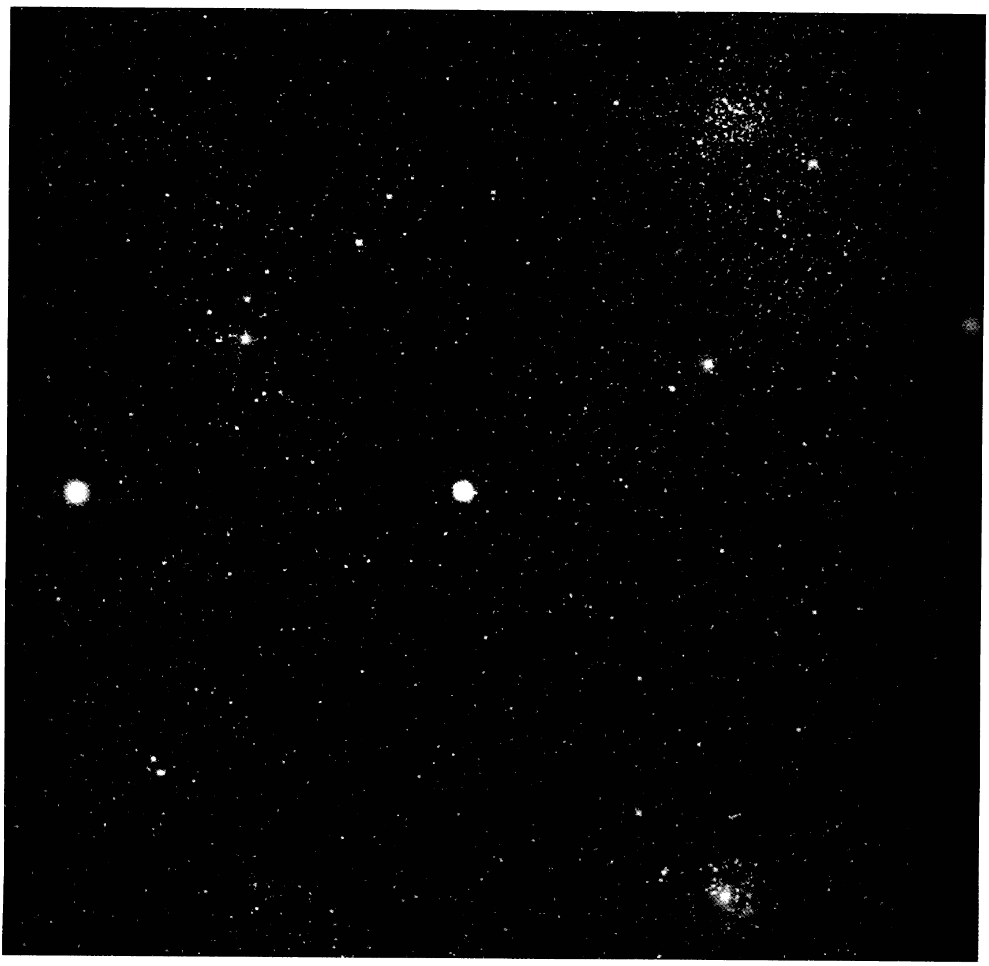


**图 726 双子星区**

右上方有一广大星团 M35，附近有几个小星团。



图 727　三叶星云，这个美丽的星云是由发光物质和黑暗物质所形成的

# 第五十三章

# 星的化学结构与演化

我们说过，怎样计算太阳大气里各种化学元素的比例或者含量。同样的方法也可用在恒星上，所以在此我们再谈一下这种方法。

如果恒星的光谱里有某一种元素的谱线时，我们可以断然地确定，这种元素存在于这颗星的大气里，但要计算出这种元素在一平方厘米的截面柱体内的含量却很困难。现就以钠这种元素作为例子来说明这个问题的困难性。假设星的每一立方厘米的物质内有钠原子若干颗，我们就要想法算出这个数目。这些原子有一部分是中性的，一部分是电离的。只有中性的钠原子吸收黄色的双重线，而且还必须是这些原子处在某种激发状态之

下。另外还有别的困难，因为处在这种状态下面的每个原子还可能吸收别的辐射，因此还必须把这一切可能的情形都计算进去。纵然我们终于决定了提供这条谱线的原子数，可是还没有完成我们的工作，因为谱线强度不是吸光原子数的简单函数。如果这些原子不太多，谱线强度和原子数成正比例，但是如果原子很多，便形成一种饱和的状态，多余的原子不起吸光的作用。所以天文学家要测定星内元素的含量时必须事先知道，谱线强度是怎样随吸光原子的数目而变化的。

这些结果的完成还可用别的测量方法。举一个特别的例子来说，氢原子因另外附着一个电子而形成负离子，我们便可借这种负离子来计算氢的含量。这些 $H^-$ 离子对于可见光和紫外辐射很有吸收力，曾经被许多天体物理学家加以研究。对分子光谱的研究，天文学家也很感兴趣，因为从这一研究中，除了发现比较丰富的 $C^{12}$ 之外，还可以发现原子量为 13 的碳，即同位素 $C^{13}$。氦的含量只是在晚期光谱型的星里的测定是很困难的。对于正常的星，化学成分是这样的：氢和氦两种原子最多，每有 1 个氧原子，便有 1 000 个氢原子和 160 个氦原子。仍以氧为标准，别的重元素的含量如下表所示：

| | 氧 | 氮 | 碳 | 镁 | 铝 | 硅 | 硫 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天蝎 T 星 | 1 000 | 390 | 180 | 59 | 4 | 65 | — |
| 蝎虎 10 星 | 1 000 | 230 | 210 | 66 | — | 85 | — |
| 8 颗 B 型星 | 1 000 | 230 | 150 | 93 | 4 | 38 | 45 |

这结果是翁索耳（Unsöld）由天蝎 T 星和蝎虎 10 星，以及威尔逊山天文学家由 B 型星而求得的。这些数字彼此很吻合，而且和许多天文学家对太阳所作的更精密的测量非常接近。

物质的这种均一性是普遍的。今天大家承认，下列各种天体的成分是很相同的：这些天体包括大多数恒星、新星、行星状星云、弥漫星云和星际物质。行星、彗星和陨星的组成也很相似，除了大行星这些天体以外，都失掉了它们大部分的氢和氦。具有上表内所列元素成分的物质，可以叫做“宇宙混合物”，宇宙里 95%～99%的物质都是这些混合物所构成的。这种均一性说明，原子核变化的机制在宇宙里或许是相同的。在研究核反应以前，我们先谈一下具有非正常含量的恒星。

**具有非正常含量的恒星**　宇宙里物质的均一性，不应该当做是一个自明的公理。我们已经看过，有些类型的星的成分和一般恒星不同。譬如，R 型和 N 型碳星比 M 型星含碳丰富，而 M 型星的主要成分是氧。在 S 型星里，锆异常丰富，代替了一部分钛。沃尔夫-拉叶星更分为两类，即氮星与碳星，这两种元素的比例随这两类星而不同。

超巨星的含氢量好像比正常星要少一些。我们认为，昴星团里的星含氢量特别丰富，这样就可以说明，它们的绝对亮度为什么超过平均亮度。

现在我们应该举另外四群星，它们与主星序的星比较，成分是不同的。很久以来，我们就知道，天琴 RR 型星的氢谱线对于它们的光谱型而言，实在是异常之弱。这是星族Ⅱ里大多数星的共同特征。这种现象可以说是因为氢的含量特别少的缘故。高速星一般有特殊的光谱，例如 G 型星以 CH 星著名，因为这种分子的光带在这些星里很强。

具有金属谱线的 A 型星，以铁、钙和电离钪的光谱为最强。这种现象的原因可能是由于特殊的物理情况，而不是由于这些元素特别丰富。

除这些成分不同的几群星以外，还有一些星具有奇特的谱线。例如，猎犬 α 星的光谱有很规则的变化，周期是 5.5 日。这不是一颗分光双星，而是一颗奇特的星，有着强的稀土金属（电离的铕、镝和钆）的谱线。在地球上，这些稀土金属的含量很少，平均说来，每 4 000 万个氧原子，才有 1 个铕原子。假使在猎犬 α 星里，铕的含量不很大，则它的谱线便观测不到，因此它的含量至少比地上多 1 000 倍。这一类型的星，我们知道的还有几颗，奇怪的是，它们都属磁场有变化的恒星。元素的含量应该和产生能量的机制有关系。我们就要说明碳在这机制内所起的主要作用，由此可见，马克拉尔（McKellar）发现 R 型星分为两类的重要性。其中一类在 50 个原子量为 12 的碳原子 50 个和 1 个原子量为 13 的碳原子中。这种含量和地球上的含量的比值为 90∶1。另一类比较丰富，对于 1 个 $C^{13}$ 而言有 3 或 4 个 $C^{12}$。这种同位素成分的变化，是一个值得注意的现象，因为在地球上元素的同位素的成分是固定不变的，只有一些稀有元素，特别是铅才有例外，那是由于放射元素崩解的结果。

**恒星的内部结构和恒星能量的来源**　我们现在对于恒星，特别是对于太阳所具备的知识，使我们能进一步讨论恒星内部的结构。这里提出的第一个问题便是恒星能量来源的问题。这个问题的解决拖延了很久，这是因为首先得等待一个有关问题的解决，后来由爱丁顿解决了。这第二个问题便是恒星稳定的问题。组成恒星大气的原子，遵循万有引力定律，本该密集成一小团，究竟是什么力量使其离散呢？这些问题在讨论太阳的时候已经谈过，因为重要，我们将再说一下。

爱丁顿证明，和太阳相同的恒星内部的每一点上，因吸引力和辐射压而得到平衡。自坡印廷（Poynting）的实验以来，大家都知道，各种形式的光线对于它所接触的质点施加一种压力。就是这种压力抵消了牛顿的引力。为了解决这个难题，爱丁顿不得不作几个简单化的假设，其中有些是很大胆的，但是已经由计算的结果加以证实。爱丁顿首先假定，

恒星内物质的作用和理想气体内的相同。可是实际上，那里的气体已经很密，不能叫做理想气体，这种假设真是有些武断。现在我们知道，这个定律是可以应用在恒星高温的环境里。爱丁顿本来也采取保留的态度，只将他的理论应用到最稀薄的巨星上。

第二个假设便是恒星内部各处物质成分的均一性和吸光能力的不变性，并且假定能量的传播只限于辐射的方式。

在这些假设下，爱丁顿证明，恒星平衡的条件是星的亮度须有一定的数值，这数值是由星的质量、平均分子量和半径三者的函数关系决定的。事实上，只是质量决定了亮度，因为半径由质量决定，而分子量又假设对于所有的星都是一样的。于是，爱丁顿求得质光关系，这是由观测已经表明了的(第四十八章)。这种关系对于一切星都有效，表明完全气体的假设甚至可用于矮星。恒星内部结构的理论可以计算恒星中心的压力和温度。下表是钱德拉塞卡的计算结果，表中的数值是由简化的计算求得的，真实的数值应该还高一些。

| 星 | 光谱 | 亮度 | 压力(10 亿大气压) | 温度(万摄氏度) |
|---|---|---|---|---|
| 太阳 | G0 | 1 | 1.3 | 1 400 |
| 武仙 ζ | G0 | 4.57 | 9.6 | 760 |
| 小犬 α | F5 | 5.75 | 4.2 | 1 300 |
| 大犬 α | A0 | 38.9 | 7.2 | 1 600 |
| 巨蛇 μ | A0 | 5 500 | 2.5 | 1 500 |
| 御夫 α | G0 | 120 | 3.7 | 260 |

这些数值的求得并不需要知道恒星内部能量产生的机制。我们现在只对于释放能量的区域作一个假设，还不需要谈到能量的来源。

在一切可能的假设下，我们只谈两个：能量的释放只限于恒星的中心(这叫做点源的星型)，或者均匀地由恒星到处发出。在这两种假设下，恒星内部均不稳定，这不稳定的意思是指恒星核心处应产生极强的对流。这对流核心的半径随星的光谱型大有差异，对于太阳，这只是它的半径的 1/10，而对于别的星来说，这核心就大得多(图 728)。

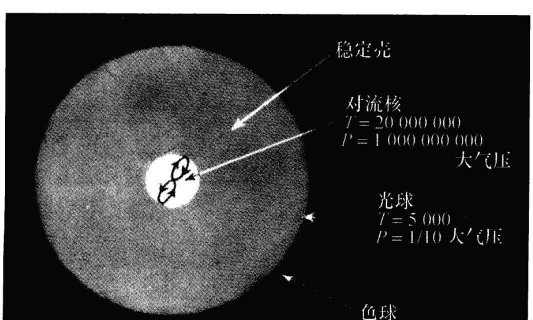


图 728　构成星球的各区域的示意图

核心的物质搅混得很厉害，它们

真成了一种均匀的混合物，这里的成分可能和恒星别的部分的成分不同。对于主星序而言，我们很有理由去假设核心和恒星的成分是到处都相同的，但是除去白矮星以外，这种情况并非是绝对真实的。

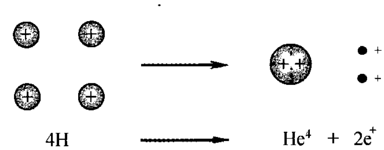
最后的一个问题，便是人类有思想以来就想到的一个问题：恒星的能量是从哪里来的？亥姆霍兹(Helmholtz)和开尔文(Kelvin)于 19 世纪中叶作了一个假说。根据这两位物理学家的见解，太阳和恒星在缓慢地收缩，于是星的每一部分因接近中心而造成能量，正如瀑布下坠或者说是接近地心而释放能量一般。

我们很容易计算这样释放的能量。根据计算，半径的变化很快，只需在 1 亿年内，我们的太阳就会完全变样，这是和地质学上的事实完全矛盾的。

早在 1 亿年以前，地上已经有了生物，而且和现在的生物并无太大的差异。我们认为，自 20 亿年以来，太阳的辐射并没有什么变化。所以，开尔文的假说给予太阳的年龄实在太短暂了，而且所余留下的能量也太少，不足以维持以后的辐射，因为在 1 亿年内，太阳就会熄灭无光了。因此收缩假说不能成立，我们必须另找能量的来源。

1921，皮兰(Jean Perrin)首先想到，星球的能量可能由氢凝成氦而产生的。这种反应只在原子核内进行，联系松弛的电子早就从这反应里逃逸走了。氢原子核又名质子，它具有大约一个单位的质量和一个正电荷。如果以氧的质量 O 为 16，质子的质量 H 为 1.008 13。氦原子核的质量是 4.003 89 和两个正电荷。我们可以设想有下面这样的反应。

如果我们对于质量算一下账，我们便会发现，氦的质量要小一些，因为 4H 为 4.032 52，1He 为 4.003 89。




4.032 52 与 4.003 89 之差等于 0.028 63，好像是失去了。但是，在自然界里是没有东西会“失去”的。拉瓦锡(Lavoisier)曾说“不能无中生有，也不能有中变无”，他的意思是只就物质而言，但是爱因斯坦把这原则加以推广：消逝了的物质可以变为能量。换句话说，质量是能量的一种凝聚的形态。

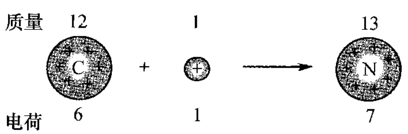
1 克物质相当于 2 500 万千瓦的能量，或者等于 270 万千克炭燃烧所放出的热量。这是整个法国在 1953 年一天内所生产的能量的 1/5。所以物质是极端集中的能量。对于恒星而言，这种能量的来源足以说明太阳为什么可以发光几十亿年而不衰竭。假设在对流核心里只有氢变为氦，那么我们的太阳维持今天这样的辐射可达 40 亿年。如果太阳里面

所有的氢都能够这样转变，这时间便可增长到 400 亿年。所以从原子核而来的能量是足够的。

即使在太阳内部——温度 2 000 万摄氏度、压力几十亿大气压的环境里，这种 4H→He 的反应也不会发生的，必须经过一种间接的途径。

正如化学家不能直接使碳酸钙和氯化钠变化为碳酸钠和氯化钙，而必须使用氨作为媒介物〔制造苏打的索尔维(Solvay)方法〕。氨在这个化学反应里进去以后又出来，并没有消耗。我们把它叫做这个反应的催化剂。在星球里，催化剂便是继续发生作用的碳、氮、氧等各种原子。

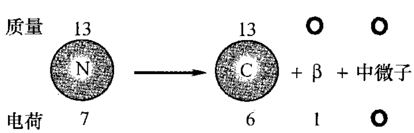
首先，原子量为 12、电荷为 6 的碳的正常核固定一个质量为 1、电荷为 1 的氢核(即质子)，而成一个新的质量为 13(12+1)、电荷为 7(6+1)的新原子。这个电荷为 7 的核是氮的一种同位素，以公式表示为：




或写为：$C_6^{12} + H_1^1 \rightarrow N_7^{13}$。

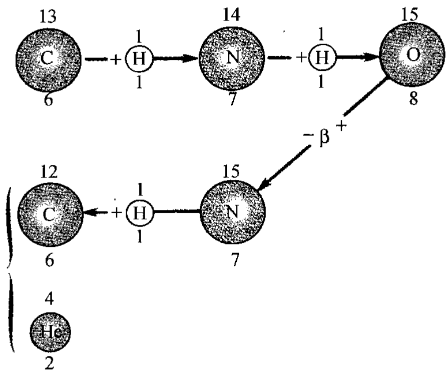
这个反应不能在通常的温度下进行，它需要很高的温度和很大的压力。即使在太阳那样的恒星里，这反应仍很缓慢。在 30 克/厘米$^3$ 的密度和 2 000 万摄氏度的情形下，一个 $C_6^{12}$ 的原子还可维持 10 万年而不起反应。这样的反应当然不能说是容易的。

反之，氮原子 $N_7^{13}$ 是异常的不稳定，它很快就会衰变。在 10 分钟内，它就会变成一个更稳定的原子。这真是一种放射物质。在这种变化里，它射出一个正电子，这正电子又变形为 $\beta^+$ 射线和一个中微子，反应式如下：




或写为：$N_7^{13} \rightarrow C_6^{13} + \beta_1^0 + n$。

这两个连续反应所提供的 $C^{13}$ 是稳定的，但是它可以捕获另一个质子，这个反应便形成一个电荷为 7、质量为 14 的核，即 $N^{14}$。这个氮又可和第三个质子集合，而成电荷为 8 的核，即 $O^{15}$。这个氧的同位素不稳定，立刻衰变，射出一个电子和一个中微子，这样使电荷变为 7，重新变为氮核 $N^{15}$，和以前的氮仅是质量不同而已。最后，如果这个氮原子再碰上一个质子(这是第四个质子)，最后一个核子反应再使原来的 $C^{12}$ 出现，并随之有一个 $He^4$ 的核。下列的图解释这个循环：




或写为：

$$C_6^{13} + H_1^1 \rightarrow N_7^{14}$$

$$N_7^{14} + H_1^1 \rightarrow O_8^{15}$$

$$O_8^{15} \rightarrow N_7^{15} + \beta_1^0 + n$$

$$N_7^{15} + H_1^1 \rightarrow C_6^{12} + He_2^4$$。

这个反应的过程是清楚的：四个氢原子进入反应，出来一个氦原子、两个中微子和两个正电子。在这个反应里，有些质量丧失掉了，但它们在恒星内部转变为能量。除了很容易穿过恒星物质的中微子之外，没有什么逃掉了的。当然，这是最慢的一种反应，它影响着整个循环的速度。对于这个循环而言，以氮 $N^{14}$ 和质子的反应为最缓，需要几百万年的长时间。由计算表明，恒星所释放的能量确实和由这个循环所产生的能量有着相同的数量级，而且我们已经看到，以氢作为燃料可以维持几十亿年。

这种循环经贝特(Bethe)说明以后，使我们明白，为什么像天狼这样的星，内部温度只超过太阳的 30%，而所放的能量却有太阳的 40 倍之多。这是因为，碳循环的核反应很受温度的影响。当温度由 2 000 万摄氏度变至 2 100 万摄氏度，只增高了 5%的时候，能量的变化便成为 1 与 2.4 之比，增长率是 140%。

碳循环可能发生在主星序的一切星里，但它却不是产生能量的唯一机制。

我们再谈一下钱德拉塞卡和沙兹曼(Schatzman)对于白矮星的看法。白矮星中心温度很高，使碳循环产生的能量超过这种不很明亮的星所发出的能量。于是，我们不得不假定，在这些星的相当大的对流核心里，已经没有氢而只有重元素，碳循环因缺乏氢作为燃料，已经停止了。星的核心被纯氢包围，因为没有催化剂，碳循环不能进行。在这个区域里只发生两质子间的反应，这样就可以说明，为什么白矮星所放的能量很少。

如果我们将碳循环应用在超巨星上，那么所产生的能量远远不及我们观测它们所放出的那样多。现在我们还不清楚，这些星是不是有另外一种模型，或者产生能量的机制是两样的。许多天体物理学家认为，反应可能是正确的，模型可能是弄错了。

不管怎样，碳循环的机制却是相当复杂。我们感到奇怪，恒星内部产生能量以及发出辐射，为什么要满足这许多条件。现在似已了解：刚才谈到与白矮星有关的、简单的质子

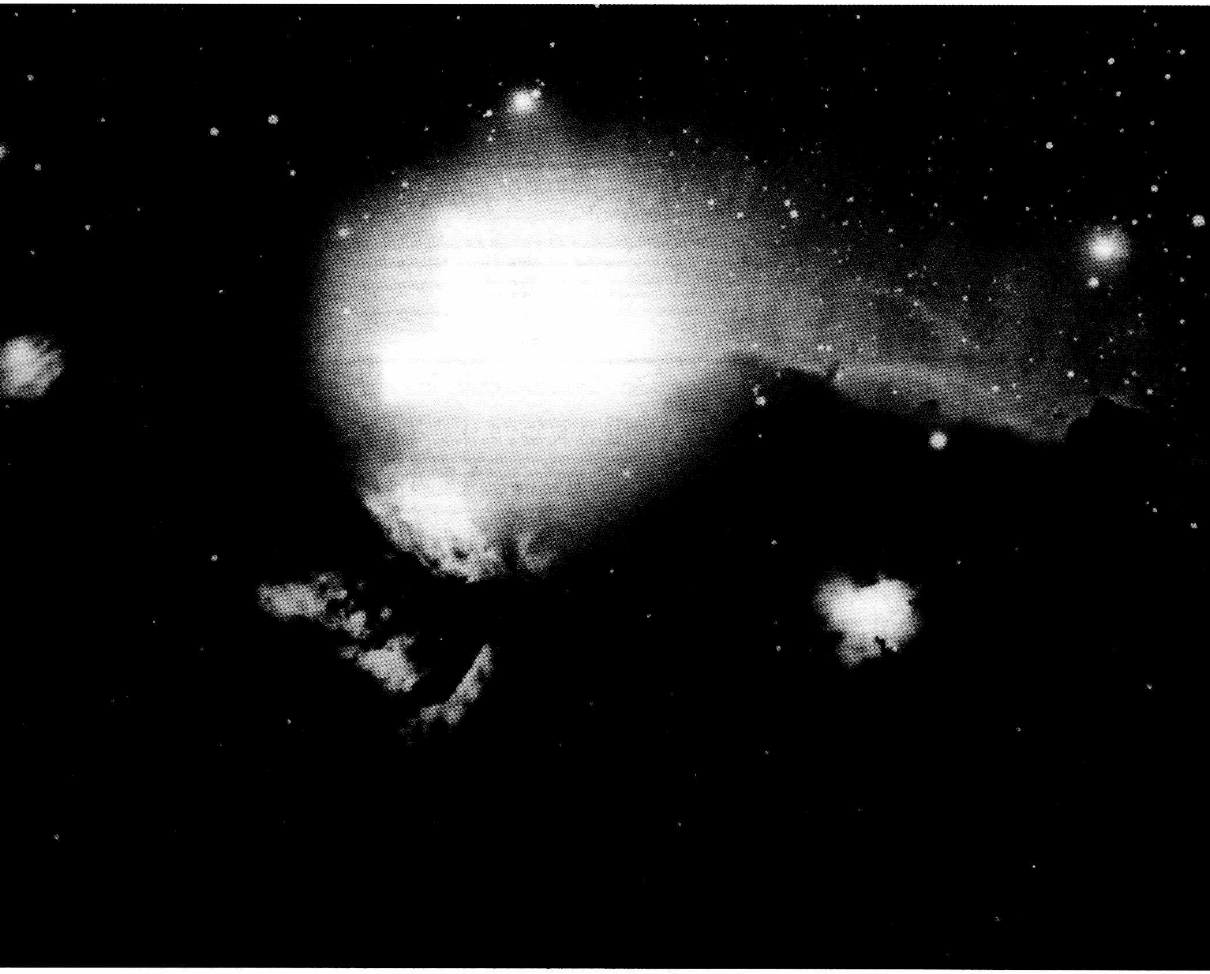


**图** 729　NGC2024、NGC2023 **和马头暗星云**
在猎户ζ星附近的吸光和发射星云，这幅图的北方在左边。

间的反应，对于主星序下部的星(包括太阳)也很重要，碳循环只对主星序上部的星才是产生能量的主要因素。

**星的演化**　我们刚才说过，由于氢核聚变以辐射的能量供给太阳。假使太阳里的氢全部由这个方式耗尽，按现在的发射率计，太阳还可维持 400 亿($4\times10^{10}$)年。可见，太阳是一个很节约的星，它极其缓慢地使用它所储蓄的“燃料”〔1964 年出版的英文译本增加了这一节，以补叙这个问题的最新进展。——译者注〕。

可是，并不是所有的星都像太阳这样节约，由双星观测所发现的质光关系(第四十八章)，便可说明这个看法。例如，一颗星的质量是太阳的 10 倍，虽然它的氢燃料储备也是

太阳的10倍，可是它所输出的能量却是太阳的3 000倍，显然，这样的星只能够经历几百万年(对于人类的标准，这是一段很长的时间，但对于以百亿年计的银河系的寿命，这便是很短的一段时间)。这样，对于质量大的星，在它的演化史上，氢燃料的消耗必定发生深刻的影响。这类的星属O型和B型，在天文学的尺度上是年轻的星，而G型或K型星的年龄却相当长，甚至可以和银河系本身的岁月同样悠久。据计算，太阳的年龄与由岩石里放射物质所推出的地球年龄即约47亿($47\times10^8$)年〔本书初版作35亿年。——译者注〕(第八章)具有相同的数量级。

在星的演化历程中，最明亮的星也需经过100万年始能用去它储备的燃料，这显然不是能从观测中去发现的。虽然有时我们可以看见一颗超新星的爆发(第五十章)，但是我们绝不能由个别恒星的观察去发现它的演化历程。可是在近15年内，由于对各种星团的仔细观测，我们搜集到有关演化的大量证据(第五十二章)。对星团研究的特殊意义使我们可以合理地假设每一星团里的成员都是同时形成的，而不同的星团则形成于不同的时期。这样，星团在演化研究上所起的作用，好像地层里的"化石"一般，因而演化的问题便成了对于这些化石的分类与其形成的确定。明白了这一事实，再加上原子核物理学的进展和恒星结构的理论发展，便使我们对恒星演化的了解迈出了很大的一步。

一颗年轻的、只用掉少量氢燃料的星，其化学结构整个都是均匀的。这样的星稳定的条件有二:(1) 星体内任一点所受的压力(气体压与辐射压)必须与其上层的重力取得平衡;(2) 每秒钟从表面射出去的能量必须等于由其中心核反应所生成的能量。本章前一节说明，爱丁顿已经证明，在这两个条件下，如果已知星的质量和化学成分，则其光度与半径均可由计算而求得。质量仅能由少数星而求得，但是半径也可由计算而求得这一事实，表明光度与半径之间必定存在着一种关系，因而光度与表面温度之间也必有一种关系。光度等于星的表面积与表面亮度的乘积，而亮度又按温度的一定规律而增加。既然表面温度可由光谱型或色指数而推出，可见恒星内部结构的许多事实应当表现在赫罗图上(图667、图730A)。具有这些因素的恒星，事实上是赫罗图里的主序星。如果星有相当大的质量，它们便是明亮、炽热、均匀、稳定的早型星;反之，质量小的星便是既暗且冷的晚型星〔主星序里排在前面的，如O、B、A三型的星叫做早型星;排在后面的，如K、M型的星，叫做晚型星。——译者注〕。

由赫罗图可知，在空间的一定范围内，大多数星是主序星，其他的如红巨星与白矮星，则不属主星序。对于主星序的星来说，它们的质量不是太大便是太小，可是它们的

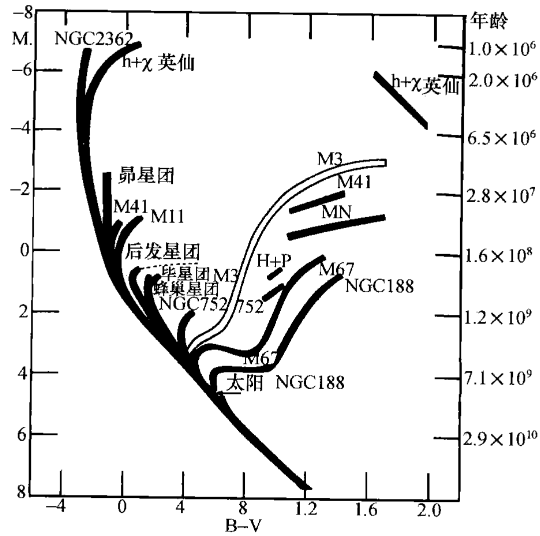



图 730A　由十个银河星团组合而成的赫罗图
空白线是球状星团 M3 的巨星支，绘在一起以便比较。

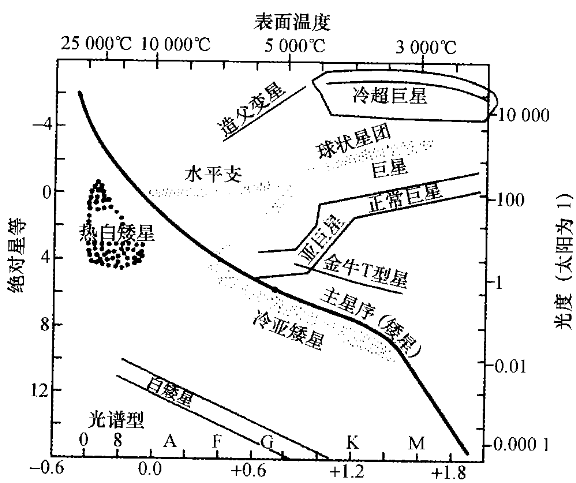



图 730B　两种星族里主要星群的赫罗图（示意图）
色指数 B-V 表蓝星等减视星等（绿色-黄色），按表面温度递降的次序增长。点区表示星族Ⅱ所在处，主星序上的黑点代表太阳。

存在需在演化理论上得到解释。刚才讲过，白矮星内部的能量储备很少，再加上其他完全耗尽了核心内燃料的星，一并可以看做是演化终局的“墓地”。在理论上，巨星的结构不能当做是均匀的结构，但是如果把它们看做核心为氦即氢经过聚变后所余下的“灰烬”而外面围绕着未用的氢的结构，便可得到解释。当然，核心与外壳里的物质应是很少混合或不可能混合的。

导致现今恒星演化理论的另一线索，是巴德用感红光的底片拍摄到仙女座大星云的核心之后，所提出的两星族的理论（第五十二章）。银河系是如同仙女座星云那样的旋涡星系，星际尘埃与气体聚集在银道面内和旋涡臂上（第五十六章）。在主星序上段的 O 型和 B 型等热星聚集在旋涡臂上，这是可以理解的，因为这些星很迅速地耗尽它们的氢燃料，只能在现今还可凝成为星的尘埃与气体的区域里被人发现。这些星是新近形成的另一个证据，可以由星协（第五十二章）成员的扩散现象而得到。这一类幼年星常出现在银河星团里，是星族Ⅰ的典型成员。

在半人马座里银河系中心的方向上，我们发现不少星族Ⅱ的成员（例如在球状星团

内)，它们与星际物质无关，因而那里找不着幼年星。这一族星有一些也出现在我们附近，它们是第五十六章内所说的“高速星”。星族Ⅱ的主要特征是：(1) 成员星的轨道是围绕银心的椭圆，与银道面的交角相当大，这与如同太阳那样的Ⅰ族星恰恰相反，它们的轨道是交角小的正圆；(2) 谱线弱，表示重元素相当稀少，这又是与太阳不同的另一特征；(3) 有天琴座 RR 型变星；(4) 没有 O 型和 B 型星，这是缺乏星际物质的一个结果。球状星团里的一切亮星都是红巨星，因而巴德才能用感红光的底片拍摄到组成仙女座星云的核心的恒星。

以上这些由观测得来的事实当然是导致恒星演化的一个大概轮廓。开始，一团由气体和尘埃构成的云凝结成一群星，在引力收缩阶段度过一段比较短的时间，直到星的中部压力足以抵抗其自己的重力为止。星体的结构得到自身的调准，使得其辐射出去的能量与由中心氢元素的热核反应所释放的能量取得平衡，于是星在赫罗图的主星序上稳定下来。经历一段很长的时期，每颗星在主星序上的位置由其质量所决定了。由于最亮的星最迅速地耗尽其储备的氢燃料，它们在主星序上经历几百万年便不见了，超过某一光度时，它们便离开主星序。在年龄较大的星团里，其成员脱离主星序之点在光度较小之处。

一颗星究竟耗掉多少氢才离开主星序？而离开之后又往哪里去呢？观测表明，星从此变为巨星(按脱离主星序处的高低，可以成为超巨星或亚巨星)。由近 15 年来许多天文学家对于恒星结构的计算，才知道了巨星序的形成。氢核聚变首先集中在星中央的小区域里(即温度和密度极大之处)，这个燃烧区逐渐扩大到外面，直到它达到其质量的 12%时。那时星体膨胀，光度增大到原来的两倍，它在主星序上的位置稍微增高一点，这是它的临界位置，然后，核心处的压力不再能够支持其上层的重量，因而星失掉了稳定的平衡。

1952 年，桑德奇与史瓦西提出，星的核心处的氢元素耗尽以后，星开始收缩并释放一些由引力而来的能量，将核心以外的部分加热，更使那里发生热核反应。在这种情况下，恒星的外壳膨胀，因而形成了红巨星。以后的演化途径是直达红巨星一支的顶点(参见图 724)，已由霍伊耳与史瓦西的计算得到解释。他们认为，这向上的发展达到某一点而停止，那时中部的氦核既热且密，达到足以推动氦核发生聚变，即由 $H_e^4$ 聚合为 $C^{12}$ 的热核反应。

这些计算的对象虽是星族Ⅱ的成员，但星族Ⅰ(包括老年星与青年星)的演化大体上也是这样，只是年龄与化学成分稍有差异而已。桑德奇为了表达演化过程，曾将十个银河

星团的赫罗图综合绘在一起(图730A),并将球状星团M3的巨星支绘上,以作比较。图中脱离主星序几点之高低的差异,正如埋在不同地层里的化石,愈往下去,年龄愈是增加。每幅赫罗图是对许多星的瞬时拍照,而不是表示单颗星的演化过程。星在巨星支上所经历的时间比在主星序上短得多,因而每一种星团内巨星的质量相差很少,换句话说,每一种巨星支可以看做是具有某一类特殊质量的星的演化途径。

巨星阶段以后的演变在理论上还不明白。球状星团有一"水平支"(包括天琴座RR型变星)与热亚矮星(图730B),后者也许是代表红巨星以后的阶段。有些热亚矮星的光谱里有氦而没有氢的迹象,是与这种观点相吻合的一个证据。耗尽了核内燃料的星可能以白矮星的形式而终结其生命,只是它们的质量不能超过太阳质量的1.1倍而已(准确的数值与星的分子量有关),而质量比这更大的星,不能演化为超密的白矮星。

因此,质量多于这极限的星在其演化过程里必定会抛出一些物质,程序缓慢的,如冷的超巨星,由其光谱得知有这一现象;程序急剧的,如超新星的爆发,会抛出大量的物质。

霍伊耳、福勒、巴比季夫妇等人提出,在这个演化的最后阶段里,由于很高的温度与压力的作用,原子核聚变的过程可由氢和氦而形成重元素。例如,从氦出发可能引出下面一系列的热核反应:

$$C^{12} \rightarrow O^{16} \rightarrow Ne^{20} \rightarrow Mg^{24} \rightarrow Si^{28}。$$

最后更形成$Fe^{56}$。最后这一种原子核异常稳定,因为在一切元素中,它具有最大的结合能量。在以原子量为纵标、宇宙里元素的丰富度为横标的曲线上,铁表现为一个特殊的高峰,虽然铁在宇宙里比氢或氦(甚至比碳和氧)少得很多。更重的元素其特性的差异更大,它们的形成可由铁捕获不同数目的中子,而随后以β衰变,以成为一个稳定的核。这一机制好像是对恒星和陨星所观测到的元素丰富度给予一种很好的说明。当超新星爆发之后,它里面的重元素散布于空间与氢混合,成为凝成下一代星的材料。这样我们预料,愈年轻的星所含的重元素愈多,球状星团里的老年星与I族星的光谱的差异,便可由此得到了解。反之,I族里最老的星与年轻的星相比,在金属含量上并无多少差别,这说明:元素的合成显然不是只有时间一个因素,银河系里不同区域处重元素的形成率必然大有差别。

关于演化的末期只说这些。其开始,即进入主星序以前,引力收缩的阶段又是怎样的呢?既然亮星比暗星完成其演化历程迅速得多,我们当可在极年轻的星团里观测到明亮的O型和B型星,它们已经在主星序之内,而其暗星还在主星序之上。事实上真有这样的星团,而且它们是和星云有联系的,具有异常明亮发射谱线的金牛座T型星(第四十九章)

便是收缩星。也许闪光星(很冷的 M 型矮星)也处在收缩阶段里。

由此可见,近代的恒星演化理论虽然还不能解释一切现象(例如天琴座 β 那对密近双星),但却确定了一种结构,可以将各种不同性质的天文观测结果很自然地嵌合进去。未来的进展须依靠以下的几种努力:(1) 使用快速电子计算机计算改进的恒星内部结构;(2) 原子核物理学的进展,以提供理论计算所需的数据;(3) 对太阳附近的恒星的仔细观测。这些星一般虽不属于星团,但其中多数可能是从星团逃出来的,而且无疑经过了相同的演化过程。



图 731　马头暗星云

用红光拍摄氢气表现得特别明显。这幅图的北方在左边（帕洛马山 5 米径反射镜拍摄）

# 第五十四章

# 弥漫星云

我们在这一章里将要讨论一类形状和界限都不确定的星云。

猎户座内的美丽星云和环绕昴星团的星云气都是这类天体的典型。这些星云是由弥漫物质，如原子、分子和很小的尘埃颗粒所形成的。在性质上，它们是和亿万恒星所组成的星系或旋涡星云大不相同的。很久以来，天文学家对于这两类星云感到难于分辨，因为恒星所组成的星云距离遥远，一直到有了近代的巨型望远镜时才能把它们里面的恒星分辨开。我们暂时只讨论弥漫物质所形成的星云（图 731）。

现在我们很容易分辨弥漫星云和河外星系。首先，它们在天上的区域不同：所有的弥

漫星云都在它们所属的银河的附近。弥漫星云是我们星系里的成员，而旋涡星云分布在很远的空间，就像我们的银河系一样是恒星的集团，所以旋涡星云又有河外星系的称号。旋涡星云在天空上应该到处都有，实际也是这样的，只是由于我们的星系挡住了银河平面上的旋涡星云，使得只有离银道面较远的旋涡星云才能被我们看得见。

弥漫星云的范围常是很广，没有明晰的界限，而河外星系范围看上去要小些，其轮廓相当清楚，常具有特殊的形态。许多弥漫星云发出很特殊的光谱，而河外星系的光谱却和太阳的光谱相似，因为它是像太阳那样的恒星集团，光谱当然是相似的。

**猎户座大星云**　这种星云的位置表示在图 732 的照片上。这种星云容易在巨大的猎



**图 732　猎户座中央星云气的整体观**

图上方是猎户的腰带即 ξ、ε、δ 三星。第一星沉在星云气里。左下方是猎户座大星云。右方的气体云一定是被吸光物质所掩蔽的。

户星座的中央找到。视力好的观测者容易用肉眼看见，但是用一具双筒镜看得更清楚。如果有一架天文望远镜，更易欣赏这种星云的伟大。借近代的大望远镜照相，这道天空的奇景才完全表现出来。在大望远镜里，我们可以看见，一颗六联聚星沉浸在很有特征的绿色光辉里(图733)。这一团组成星云的气不是均匀的，各部分浓淡不一，整个形状像一只飞翔的鸟，翅膀半展，头嘴向前。这在我们的照片上就很明显。仔细研究这张照片便可看出，这类星云有两个特征：首先是它的纤维结构，好像被风吹散的卷云；其次是一些黑暗的区域，好像其中有些明亮的部分被吸光物质所掩蔽〔1959年用5米反射望远镜成功地拍摄了猎户座大星云的彩色照片，可以看出这个星云所具有的异常富丽的色彩，请参看本书彩图。——校者注〕。



图733　猎户星云

六联聚星猎户θ星沉没在露光过久的区域里。注意气体的混淆结构，发射的和吸光的两种气体混在一起。

**十个大范围的弥漫星云**

| 星号 | 1975 | | 别名 |
|---|---|---|---|
| | 赤经 | 赤纬 | |
| NGC1976 | 5 时 34 分 | $-5°30'$ | 猎户座大星云 |
| IC434 | 5 时 40 分 | $-2°25'$ | 马头星云 |
| NGC2244 | 6 时 31 分 | $4°57'$ | 玫瑰星云(麒麟座) |
| NGC3372 | 10 时 44 分 | $-59°30'$ | 船底 $\eta$ 星云 |
| NGC6514 | 18 时 1 分 | $-23°2'$ | 三叶星云 |
| NGC6523 | 18 时 3 分 | $4°57'$ | M8 |
| NGC6611 | 18 时 17 分 | $-13°49'$ | M16 |
| NGC6914 | 20 时 24 分 | $42°13'$ | 天鹅 $\gamma$ 星云 |
| NGC6992 | 20 时 55 分 | $31°35'$ | 网状星云 |
| NGC6960 | 20 时 45 分 | $30°38'$ | 网状星云 |
| NGC7000 | 20 时 58 分 | $44°14'$ | 美洲星云 |

这类星云的性质是怎样的呢？摄谱仪给我们回答了这个问题：从弥漫星云而来的光和行星状星云的光完全相同。我们所观测到的，不是恒星的连续光谱，而是稀薄气体的光谱。在这种光谱里有许多氢的谱线，从红色的 $H_\alpha$ 线一直到紫外谱线，包括整个巴耳末系，还有比较弱的中性氦和电离氦的谱线(图 734)。

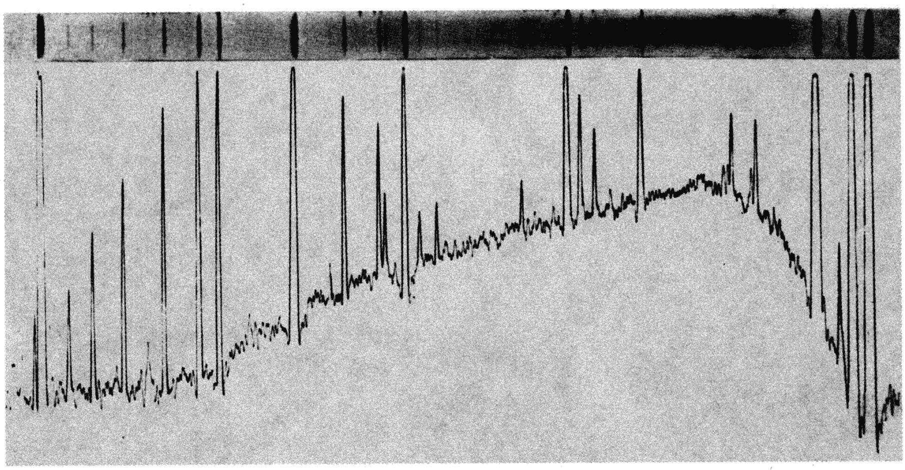


**图 734　猎户星云的光谱**

强线属氢气与其他亚稳状态下的原子，这是气体星云的特征。右边那条谱线从前以为是氩的，其实是 $O^{++}$ 的谱线。

从前人们设想，氩的谱线是弥漫星云最富有特征的谱线，而现今确认为双重电离氧的谱线，位置在青色区 $H_\beta$ 线的旁边，其辐射很强，给予这类星云以特殊的颜色。在讨论行星状星云时，我们说过，禁戒谱线是异常稀薄气体的特征。这些谱线的相对强度在星云上各

点不同。较弱的谱线是由氮、氖、碳、硫等元素所发出的。

这种光谱和行星状星云的光谱很相似，使我们知道它的光线发射的机制。六联聚星猎户 θ 在星云里的地位绝不是偶然的，因为这颗星便是整个星云发光的来源。发射的机制和行星状星云一样，猎户 θ 星的紫外光变形为可见光，再漫射出去。

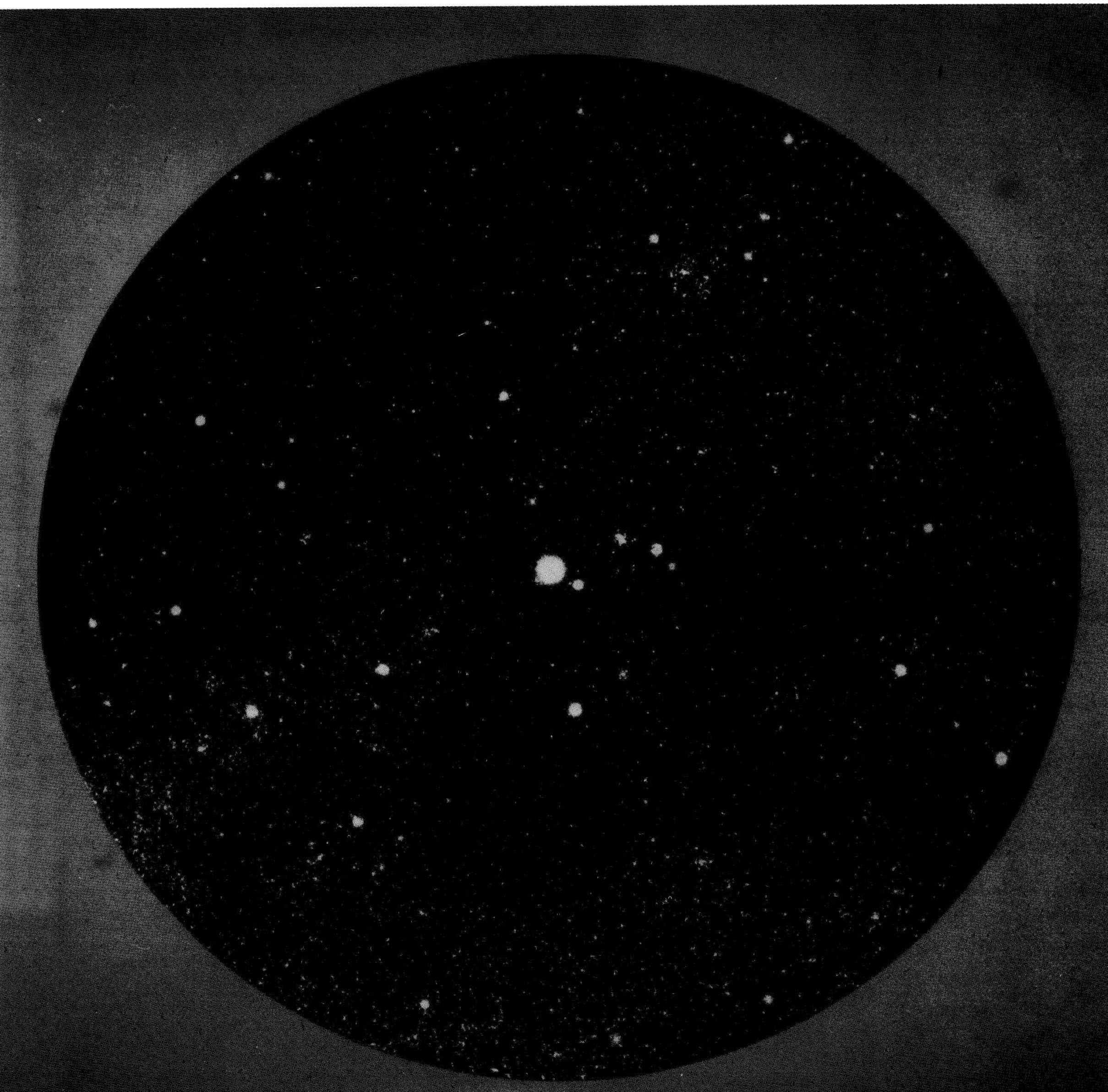
我们应该想到沉没在由孤立原子和小粒子所形成的弥漫物质云之中的恒星。它们的紫外光夺取这些孤立原子的电子。这些原子回复到不受激发的中性状态，便发出星云的

**图 735、图 736　天鹅 γ 星附近同一区域的两张照片**

左图是用滤光板选择氢气的红光拍摄，表现出很多的星云气。右图是用红外线拍摄（氢不发红外线），只有恒星出现。相同的星可在两张照片上同时找着，但是红色星在红外照片上特别显著，因此使这两张照片不易进行比较（法国南方天文台施密特望远镜拍摄）。



各种特殊辐射。离开激发的星愈远，起作用的紫外线的分量便愈少，距离和吸光的定律都在同一个方向起减少的作用，激发愈来愈弱，到了边沿，星云暗淡，以至不能看见。但是这样的暗淡是逐渐变化的，我们有可能追寻星云气直至离星很远的区域，这可以从法国南方天文台施密特望远镜所拍摄的那张照片（图 732）看出来。这张照片具有明显的特征，因为在猎户星云（照片下方的大白斑）和猎户 ζ 之南的星云之间，照片上并无明显的不连续之处。有些明亮的部分被吸光物质所掩蔽，正如在这张照片上方有马头形的那个黑暗星云那样（图 729）。这个黑暗星云的大尺度的照片见图 731。在这张照片（北方在左面）的下



方，这个星云中断了，也许是被吸光物质遮掩的缘故。这种吸光物质和发光的星云在本质上并无多少区别，只是因为这些吸光物质距离猎户 $\theta$ 星太远，不能受到这颗六联聚星的激发。

我们还认识了许多和恒星联系的发射星云。用红色氢线的光所拍摄的照片表现出较大的反衬度，在恒星背景上特别突出(图 735、736)。这些照片表明，整个银河里充满了氢气的云，其中有些可能和亮星有联系，有些关系不太肯定。例如，天鹅座内美丽的网状星云形成半径大于 1°的两段圆弧，激发这两个星云的星还没有被确认出来，也许就在这个区域的繁星之中(图 737、738 与 739)。这种星云成圆弧形的结构是常见的现象，一个大圈环绕着整个猎户星座。关于天鹅星云构成圆弧形的原因，奥尔特的解释是由于古代超新星射出的物质和星际物质的冲突所致。这就可以说明星云的纤维形态以及现今找不到的、很久以来便熄灭了的中央星。弥漫星云的距离很难测量，只好借和它们有联系的恒星去确定它们的距离。

我们所说的弥漫星云发光的机制，需要有一颗很热的、发出很富有紫外光的星，这便是猎户星云里 O 型星的情况。这样我们就可以探讨，如果该星比较冷，基本上不发射紫外线，那么这些星际物质又会有什么样的表现呢？激发的机制虽然不起作用，原子不发出发射谱线，但是星云物质仍然可以漫射光线的。那么，我们所遇见的便是另一类弥漫星云，如同出现在昴星团内几颗主星周围的那些星云气(图 719)。这些星云气所发出的光差不多和它们附近的星光相同，但又有一点不同，这从原子和质点对于光的漫射的理论中容易得到解释。

被原子和质点漫射的光线有这些特征：光线的颜色改变；反射光将光波振动的方向加以选择，只允许某一特殊方向的光线反射出来，这样就可以计算漫射光线的质点的大小。这些质点的直径是万分之一毫米的数量级，可是原子更小，即使这样小的质点，还包含有几千万个原子。

对于光波的波长而言，大质点漫射光而不改变其颜色；如果漫射的是光的分子或原子，那么漫射出来的光线显然比星光更蓝。

发射的或反射的弥漫星云给我们表现出星际物质的两种情况。由观测而得的整个现象(我们现在只举出重要的几种)表明，星际物质到处都有。它的密度不是均匀的，就因为它分布的不均匀才表现了它的存在。

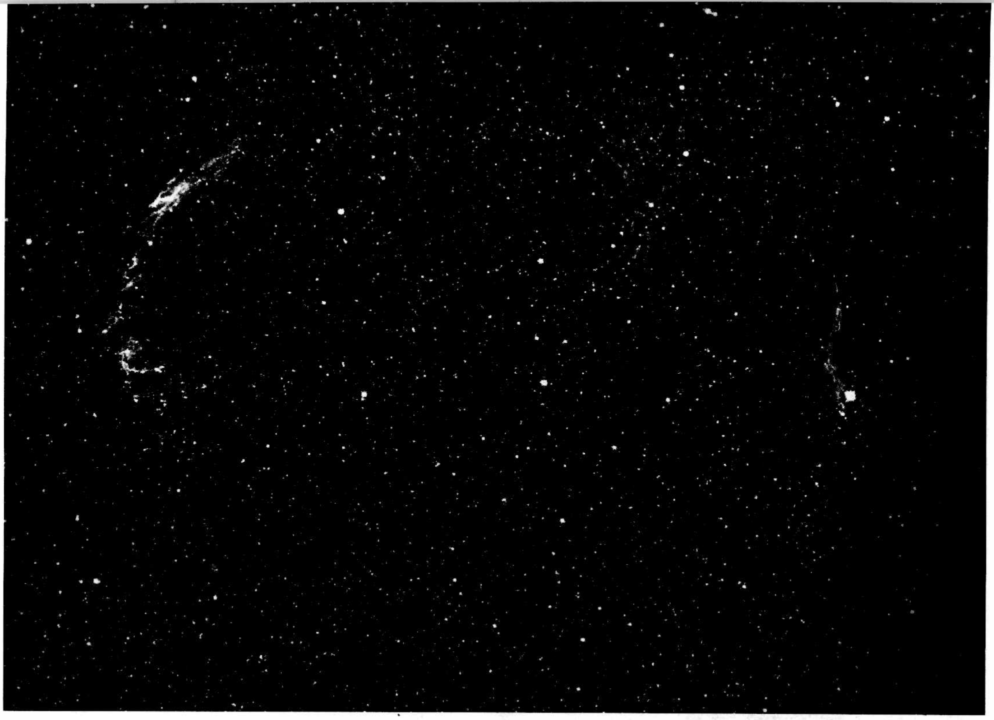


图 737　网状双星云的整体观，并参看图 738、图 739



图 738　天鹅座里的网状星云（NGC6995 的北边部分）

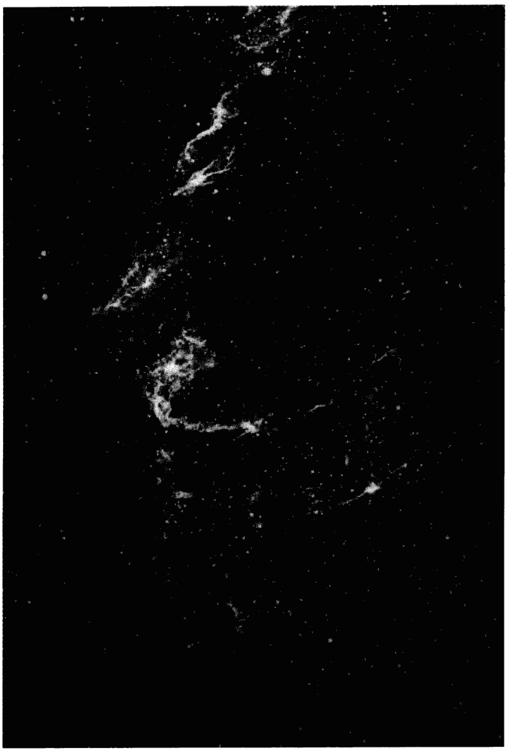


图 739　天鹅座里的网状星云(NGC6995 的南边部分)

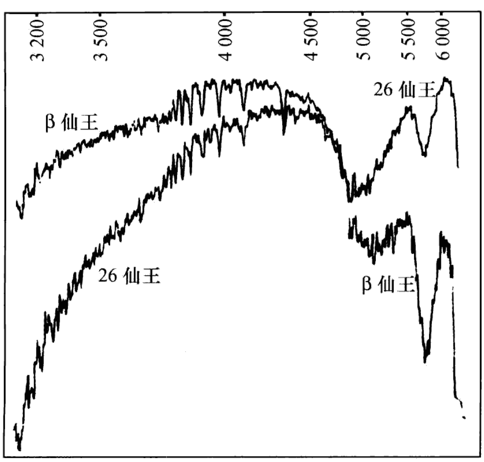



**图 740　两颗 B 型星光强度随波长的变化而变化**

这两张光谱照片的露光时间调节到使青蓝区 4 800Å 处有一样的黑化情况。由这幅描迹图可见仙王 26 星比仙王 β 星更富有红光,而少紫光。这种差异是因星际吸收而使仙王 26 星发生红化。

在对星团的研究里,我们已经说过,星光在它所经过的星际空间里被吸收。如果星光经过 3 300 年走了 1 000 秒差距,它就失掉了它一半的能量。一颗像太阳一般明亮的星,处在这样的远处:没有吸光作用,视星等是 15;因有吸光作用,视星等是 16。因此这种吸光效应很大,而且随着距离而增大。如果我们根据视星等去测定星的距离,这个效应是必须计算进去的。一颗 22 等的小星,如果它的绝对星等是 −2,它实际是在 1 万秒差距处,但是如果我们不把吸光的效应计算进去,所得的结果便会有 60 倍远的距离。所以,星际吸光是一个很重要的现象。它对于蓝色辐射比红色辐射更要强些(图 740)。因此,认识吸光随光色(或波长)而变化的定律是很重要的。许多天文台都做过这种研究。迪旺(Divan)曾精密地比较很红化和未红化的星,而得出最新的结果。这些未红化的星是在特殊方向上的近星,可以由它们的光谱型而判断。迪旺证明,吸光定律在各种方向都是相同的,只是吸光物质的数量而不是它的本性随方向有变化。

这些吸光质点究竟有哪些性质? 这个问题还没有确切的答案,可是我们在这方面已经有相当确切的认识。对于吸收一切辐射的大质点而言,如同一个不透明的帘幕一样,吸收作用是中性的。这样形态的物质,对于一定的质量而言,粒子愈

大，吸光作用愈小，这是不难理解的。设想我们堆集 8 个小立方体形成 1 个大立方体，体积增大了 8 倍，可是它的长度只增加 2 倍，面积只增加 4 倍，但是每个独立的小立方体，面积却是 8 个单位(图 741)。所以，堆集起来的物质吸光作用只有独立时的 1/2。

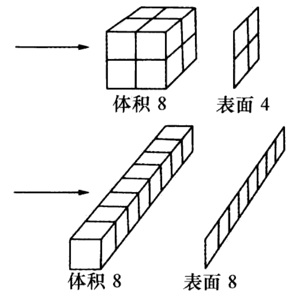



图 741 体积与表面积增长比较示意图

对于很小的质点，如原子与分子，吸光定律就完全两样。瑞利(Rayleigh)曾经研究过这个问题，证明紫光和蓝光比红光更容易被吸收。这种选择性是很大的，紫光比红光吸收量要大 16 倍。但是在这样的形态下，物质吸光的能力却很弱。日常生活里的观测可以说明这个现象：澄静的大气如果含过饱和的水汽，便是完全透光的，但是如果因为某种气象的变化，水汽凝结，即水分子形成小水点，吸光就变得很厉害。我们看见，先有白云而后转变成为黑云。

星际空间的吸光介于中性接收和瑞利吸收之间。例如，星际物质吸收紫光只是吸收红光的两倍。这数字在分子的吸光数和石子的吸光数 16：1 之间。我们由此推出，星际物质的直径也在这两者之间，事实上，其直径的长短是可以和光的波长相比拟的。



**图 742 金牛星区**

照片表现出发射和吸收的气体混淆在一起，有几条吸光物质把背后的恒星掩蔽(17 厘米口径的物镜拍摄)。

奥尔特从银河星系动力学的研究推出星际物质的数量，他求得，在太阳附近，每边1 000千米的立方体内有物质3克。相对于地球上的情况而言，这样稀薄的密度实在是微不足道，可是从天文的尺度而论，这是一个相当大的密度，等于将所有的星研成尘埃散布在空间的密度，或者说，空间里凝聚成星球和分布为质点的物质，两者的数量是均等的。说得确切一些，奥尔特的看法必须作这样的修正：每边1 000千米的立方体内含3克物质的数字仍然有效，只是这些物质有一部分形成不发光的星，另外一部分才是原子。

不管怎样，要解决的问题是很明显的：有一种确定的选择吸收，如紫光的吸收是红光的两倍；总吸收量是每1 000秒差距吸收一个星等；密度是在每边1 000千米的立方体内有相当于克的数量级的物质。这便是需待说明的三个数据。未知的东西便是这些吸光质点的性质和大小。天文学家曾经想到两种质点：一种是绝缘物的质点，如冰和非金属；另一种是金属组成的导电质点。这两种质点的作用是完全不同的。前一种只能造成漫射，当它们的直径是光的波长的数量级时，最为有效。对于万分之一毫米或十分之一微米直径的绝缘尘埃粒子，我们找到了星际吸光的定律。这些粒子实在是异常的微小，需要有1 000兆($10^{15}$)个这样的粒子才形成1克，可是每颗粒子里还含有5亿($5\times10^{8}$)个原子。平均说来，每边10米的立方体内有这样的一枚粒子。

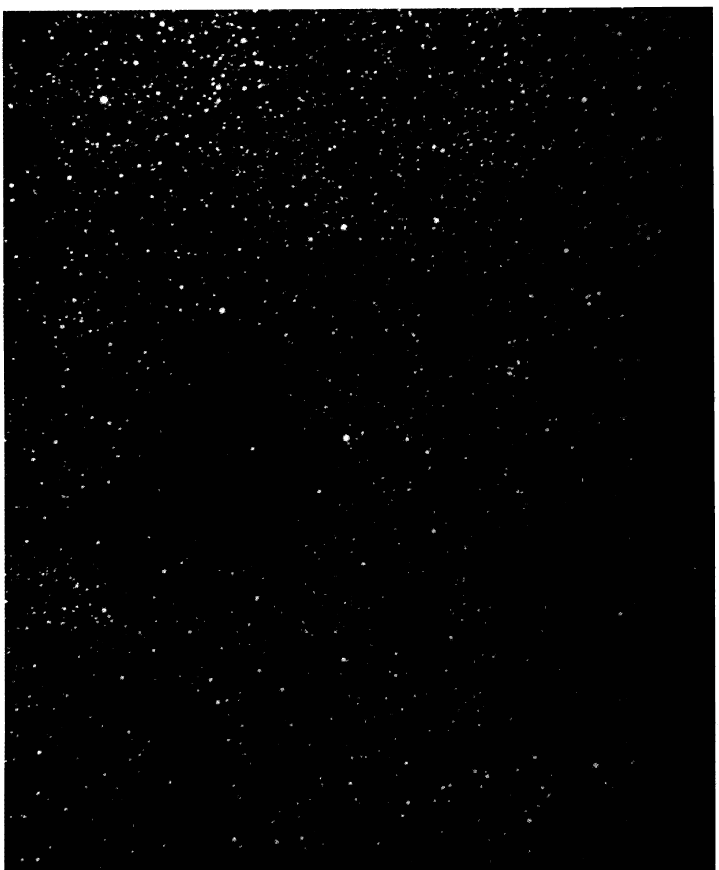


图743　因无星可见所表现出的黑暗星云

实际上并不是没有星，因为在视向方向上至无穷远处找不出星，这是不可能的事。

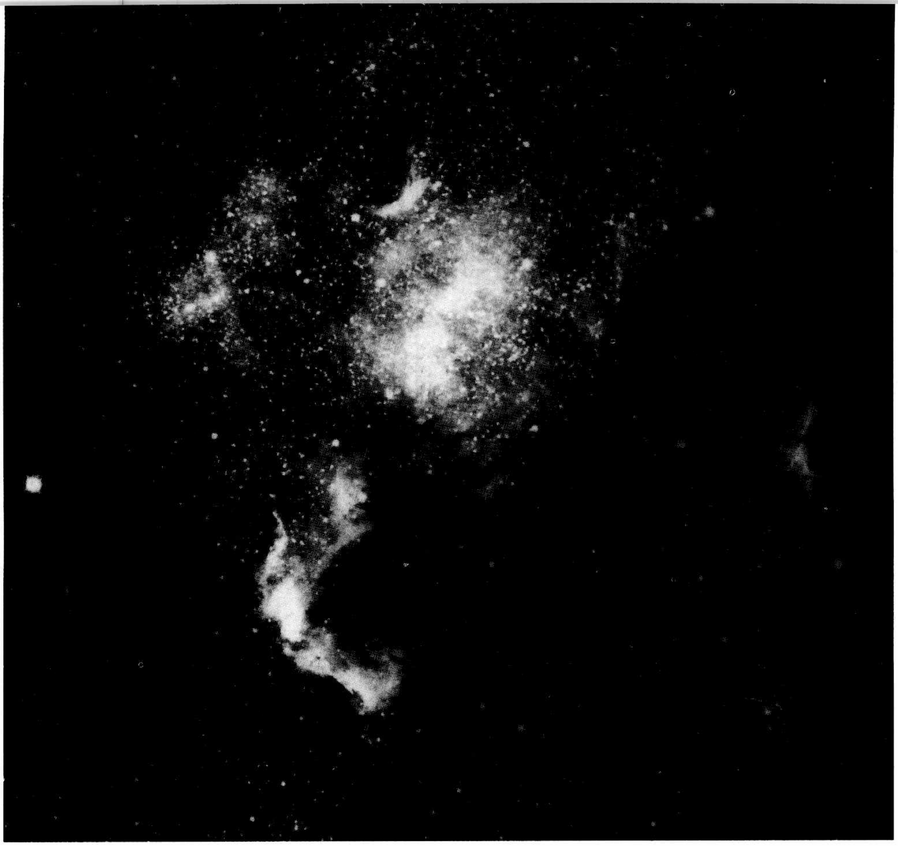


**图 744 与图 745　天鹅座美丽的美洲星云和鹈鹕星云**

上图用氢气的红光拍摄，下图用红外光拍摄。



这些质点很可能是绝缘物质所组成的。我们要说明，星际物质基本上是和太阳物质相同的。每有一颗金属原子，就有 6 000 颗氢和氦的原子和几颗氧、氮与类金属的原子。范·德·胡斯特(Van de Hulst)和奥尔特说明，这些质点凝集成像冰那样的微粒。

瑞典天体物理学家沙伦(Schalen)研究过金属质点。他证明，这种质点真的会吸光而变热。这种现象加上绝缘质点的漫射作用，使得这些质点更具有吸收性。一定质量的铁如果分布成小于 1/10 微米的质点，不管这些粒子的直径怎样，吸光的数量总是一样的。

如果星际质点是铁，它们的直径就不能得到确定，因为我们不能说，在一定体积内只有 1/10 微米的粒子 1 颗，或者有 1/1 000 微米的粒子 40 万颗。因宇宙物质里金属含量很微小，也许并没有所谓金属微粒，但是为了解释我们下面就要谈到的光的偏振现象，我们好像应该假定有这样的微粒。

**星际原子** 因质点吸光，亮星附近的氢原子形成发射星云。离亮星远的区域里也可能有原子，这是可由以下的几种方法证明的。

星际原子，特别是电离钙 $Ca^+$ 的原子，表现在吸收谱线上。这是 1904 年哈特曼(Hartmann)观测分光双星猎户 δ 所发现的，他指出有两条钙谱线不参加分光双星的谱线移动，而是永远固定在光谱上。如果我们假设，这两条谱线不是由于星的色球层的吸收，而是被星和我们之间的星际原子所吸收，这现象便得到解释。

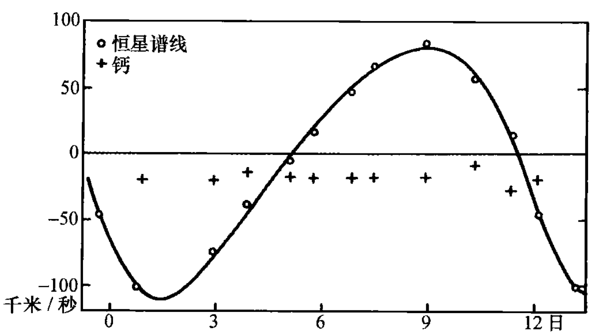



图 746 $B_3$ 型博斯 5070 号星的视向速度曲线
具有固定的钙谱线，这是由星际吸光物质而来的。

哈特曼的结果得到进一步的推广：不晚于 B3 型的许多热星(图 746)不含能吸收 H 和 K 谱线的 $Ca^+$ 原子，但如果这些星的光谱里有这样的谱线，它们便是从星际物质而来。由这些谱线所推出的视向速度常和恒星的视向速度不同，因为这样推出来的是吸光云的视向速度，而不是星的视向速度。比尔斯(Beals)和亚当斯进一步指出，这些星际谱线常是多重的，因为光线在到达观测者以前，常常经过几重具有不同速度的云。每有一重云就有一条相应的受多普勒效应影响的谱线(图 747)。除了上述的重要谱线之外，还有别的星际谱线。例如，中性钠的黄色 D 双重线(5 890埃、5 896 埃)和别的元素，如电离钛、铁与中性钙的谱线。其余的谱线就难于确认了。

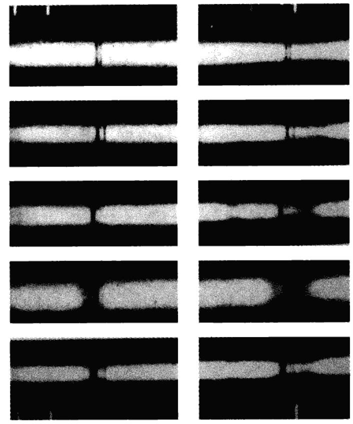


**图 747　天鹰 X、HD167264、御夫 X、人马 $\mu$ 和 HD199478 五颗星的 K 和 H 谱线**

K 谱线是双重的或多重的，H 谱线也有相同的结构，但是恒星的氢谱线 $H_\varepsilon$ 也在里面。每条谱线相当于星光在行程中所经过的一重钙云。这些谱线按照云的视向速度而有不同的位移。

最奇怪的是，有十几条谱线（其中三条最强）是由碳分子 CH 和 CN 而来的。在星际空间极特殊的情况下，复杂的分子光谱常是简化成几条谱线。温度低是星际空间出现分子的原因，分子得以结合，正如尘埃微粒得以存在一样。

现在（指 1952 年）有六条星际谱线和谱带还没有得到确认。这其中有一条强而且宽，即在蓝色区的谱带 4 430 埃处。

根据星际谱线的强度，是不是也可以测定各种元素的相对含量呢？做法虽很细致，但是可以办得到的，因为谱线强度不只取决于元素的含量，而且还取决于该元素在某一光谱区里吸收某一条谱线的能力。例如，电离钙和中性钠是容易进行观测的谱线，但别的更丰富的元素便没有在适当位置上的吸收线。所以，若要计算星际元素的含量，就应该将这个因素考虑进去。下面记载星际空间每立方米内各种原子的数目，这是现在所得到的最可靠的结果：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 氢 | 100 万 | 钠 | 60 |
| 氧 | 1 000 | 钾 | 4 |
| 钙 | 100 | 钛 | 2 |
| | | 碳分子 | 1 |

按我们现在的认识，碳和氮原子的含量还不能确定，而且氢的含量是通过一个很间接的途径求得的。钙原子的高度电离使星际空间每一立方厘米内有一颗自由电子。于是空间里有很多电荷，它们应该在许多现象上表现出来，可是却没有得到观测上的证实。如果我们假设，每一立方厘米内有一颗电离的氢，这个困难便可以消除。这种假说好像是合理的，因为在热星附近，氢原子的存在表现在热星的发射光谱里。我们把含电离氢的区域叫做 HII 区域。对于距星很远的空间，奥尔特和米勒（Muller）以特殊的研究方法发现有中性氢或 HI 的区域。当我们谈到银河系的结构时，我们还要提到中性氢和利用它发出的射电波去探寻的办法。

星际物质里元素的相对含量就我们现在所得的片段知识而论，是和太阳、行星或者恒星里的元素的含量很相近的。这是一个很重要的结果。由恒星到星际，推广了宇宙里物

质组成的均一性。如果我们承认这个结论，则星际空间里也应该有大量的氦原子。1953年在马克当纳天文台有人在氢的发射谱线旁边观测到氦的发射谱线。这些谱线的暗淡还是一个需要解释的疑谜。

很久以来，天文学家便考察，是不是有从几毫克的颗粒到几千千克的大块物质在星际空间里运行？对流星的观测给这个问题提供了一些线索。我们知道，陨星是进入地球大气的小块物质受摩擦而形成的，是我们熟知的发光现象。天体力学给我们一个简便的方法，去判断流星是从太阳系以外而来的还是太阳系内所固有的。在前一种情形下，流星和地球碰撞时，对于太阳的速度应该超过 42 千米/秒；在后一种情形下，这速度就小一些。因流星飞得快，而且其出现又不能预料，所以对它的速度的测定是困难的。照相的观测特别是雷达的观测，才解决了这个问题。我们所观测到的流星都是属于太阳系的，从来还没有观测到一颗我们敢于确定它是从星际空间而来的流星。根据观测，有几颗流星速度达 43 千米/秒或 44 千米/秒，事实上，因有 1 千米/秒或 2 千米/秒的误差，它们的速度可能只有 42 千米/秒。从前的目视观测的结果应当看做是错误的。

根据上述的结果，假设星际空间的流星仅有太阳附近的 1%，我们便可对于星际大质点的密度得到一个上限。

试算一下这些大质点密度的上限。陨星的质量很不相同，从万分之一克到几十万千克，而且质量小的非常之多。根据最好的估计，太阳系里两颗陨星之间的平均距离是 60 千米，因此地球在它运行的途程里，每秒钟捕获 100 万颗陨星。和这数字相应的密度是，每边 1 000 千米的立方体内有 500 毫克的物质，而在星际空间里，密度只有这个数量的 1%，因而在这个立方体内只有 5 毫克的物质。可见，凝聚成陨星的物质比质点的物质要少一些，它的不随波长变化的吸收性还没有被查出。

**星际空间的物理情况** 星际空间的物理情况究竟是怎样的呢？我们所测量出来的物质是这样的：

在每边 1 000 千米的立方体内有孤立的原子 2 克至 3 克、质点 10 毫克、陨星 5 毫克。

平均地说来，这些物质都是中性的，因为每立方厘米内的负电子和正电子中和。这个空间里当然充满了各样的辐射能量。

银河系里的星所放射的光能量当然处处很不相同，随附近的星的密度和温度而大有变化。

在太阳附近，如果不将太阳计算进去，能量的密度是微小的，每立方千米的体积内只有 500 尔格。星际空间里，每 10 立方厘米平均只有一个光子。如果在这个空间里放上一个温度计，它吸收这些能量再转化为热以至由它发出辐射，再将这份能量发散出去。这个

温度计的温度将是绝对温标 3 K,即 −270℃。

对于孤立的原子,短波辐射还有另外一种作用:辐射打出原子的电子,以相当大的速度外射。这些电子和空间别的质点交换它们的能量。因此,原子所有的平均速度比在空间温度 3 K 的情况下大得多。法布里想到的这个概念,经过爱丁顿的计算,求得这种扰动温度应该是 10 000℃。这好像是一个很大的矛盾,事实上却不矛盾。在星际那样的空间里,温度统计的概念是不存在的,因为碰撞稀少,平衡建立得很迟缓。质子间的碰撞是异常稀少的,如果温度是 10 000℃,平均在 12 年内,两个质子可能发生一次碰撞;在 3°K的温度下,这时间便是每 700 年才有一次碰撞。质子和质点的碰撞比较多些,如果氢原子的平均自由程是 1.5 万千米,则平均每 15 分钟内两个质子发生碰撞。

**尘埃质点和恒星的形成** 荷兰天文学家奥尔特和范·德·胡斯特研究了质点和原子之间的统计平衡。假设星际空间充满了各样的孤立原子,比例相当于宇宙里的混合成分。我们说过,光谱分析证明,宇宙里的物质(包括星际物质)成分非常相似,最多的是氢,其次是氦,再其次是氧、氮、碳、镁、硅等。各种原子间有碰撞,碰撞的数目随各种原子的含量和体积而变化。这些碰撞一般是弹性的,即是说,两颗原子碰撞以后又重新分开,并无动量的损耗。但是,如果原子的速度小,碰撞就可能很软,于是原子集合在一起,形成分子;这分子再经过一次碰撞,可能与第三个原子集合,如此继续下去,以至形成质点。范·德·胡斯特研究了这个复杂的问题,但从物理学的观点看来,这一问题却是完全确定的。

星际空间的物质密度和能量密度都是知道的。能量密度决定分子的温度、分子的平均速度以及在平均值周围速度的分布。这两位荷兰天文学家证明,星际形成最多的粒子应当是冰的颗粒。这些颗粒是球形的,由所含有的氮和从“宇宙混合物”而来的原子形成杂质。当质点达到一定长的直径时,氢和氦的原子便不会被捕获,而只受弹性的碰撞,至于别的原子仍然继续聚集。由理论证明,0.1 微米的质点(由观测证明有这样的质点)在 900 万年内可以形成。这个时间和宇宙的年龄(至少 30 亿年)相比较,还算是很短的。奥尔特为了避免这一困难,假设两团恒星云互相碰撞的时候,宇宙尘埃的颗粒可以再度蒸发。

在亮而热的恒星附近,吸光的质点可以被辐射压所驱逐,同时,氢原子受到激发,发出富有特征的谱线。这样就可以说明,为什么银河系里有这样多的弥漫星云。离亮星远的尘埃聚集造成强的吸收而很少发射。最近的理论试图说明,这些暗云里质点因凝结而形成恒星,有名的“煤袋”便是在形成过程中的恒星。这样,我们就亲眼看见恒星的生成。博克使人们注意到异常纤细的吸光云,这些云很容易和固定在照片上的灰尘混淆起来。这些云是真实的,图 748 表现得很清楚。我们可以证明,这些凝聚物和恒星在质量上是相同



图748 人马座里的气体星云M8

这个典型的气体星云内有着纤维结构的发光气体和有名的黑色球状体。据博克的研究，这些球状体便是在形成中的恒星

数量级的。如果这个见解是正确的，这程序的结果又将是怎样的呢？刚生出的恒星是红臣星呢，还是很热的O型星？这颗初生的星，是不是将经过所有的光谱型阶段呢？我们看法并不是这样的。我们一向认为，星由热的少年期而变至冷的老年期，但是用这种拟人化的生死观去看星球的看法已经过时了。我们还不知道，为什么是太阳的20倍或30倍的O型星会变成比太阳质量还小的M型矮星。根据我们现在的核反应知识，我们还不能说明，为什么会有这样多的物质变为能量。因此，恒星发出辐射必须比实际的情况超过几百万倍。

再回过头来谈谈星际空间和空间里的能量。我们知道，地球不断遭受宇宙线的辐射，但宇宙线的来源现在还不清楚。我们从这种射线所得的能量等于从银河系内全部恒星而来的能量。假设这种辐射也存在于整个银河星系里，为此，便该将每单位体积里所含的能量加倍，这样，每立方千米内就有1000尔格。既然宇宙线特别强，它应当对星际原子的物理情况发生作用。

科学家最近证明，从空间而来碰着我们大气的宇宙线具有高速度的电离原子。我们已经能够分析出，形成宇宙线的原子的组成和宇宙物质的成分是相同的，只是缺少了氢和氦两种较轻的原子。

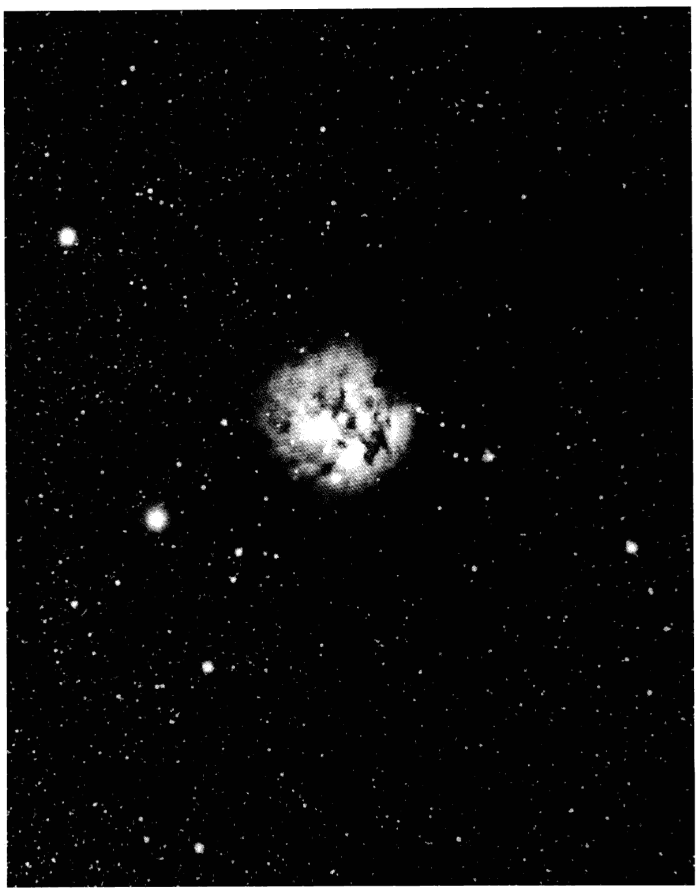


图749 天鹅座里的星云 ICII5146
这星云扩大到发光区以外，事实上恒星被星云气的吸光外层所掩蔽。

**星光的偏振化** 光线可以看做是振动。根据法国物理学家马吕(Malus)的实验，这种振动是和光线传播的方向正交的。电磁学的理论

表明，光波和带有电场和磁场的电磁波是相同的。

在天然光里，磁场的方向和振动的方向不断地变化，每秒变化有几百万次之多，而且没有一个特别的方向。物理学家有一种只容许平行于某一特殊方向的振动通过的仪器，这种仪器叫做起偏振镜。有些晶体完全吸收某一平面的振动，只让和这平面正交方向上的振动通过。我们在市场上可以购得的偏振片就具有这种作用。从偏振片出来的光已经偏振化，这是容易得到证明的。因为如果使第二个偏振片和第一个偏振片有同样的方位，第二个偏振片便会让所有的光线完全通过；如果将第二个偏振片的平面转过 90°，它就会把所有的光线一齐吸收掉了。这个能够检验偏振光的第二个偏振片叫做检偏振器。

在完全偏振的光和天然光之间有着各种可能的混合成分。例如，如果我们说，某些光线有 5%的偏振化，那就是说，这条光线里有 95%的天然光和 5%的偏振光。要说明这条光线的性质，还需指出偏振化振动面的方向。

天文学家经过许多年的研究才查出，有些星的光线是经过偏振化了的。这一发现是通过间接的途径得来的。天体物理学家钱德拉塞卡建立一种理论：质量大的星边沿上应发出偏振光，但是这个效应只能在星被它的暗的卫星遮蔽的时候，才可以查出来。霍尔和许特内尔(Hiltner)于 1947 年在叶凯士天文台对于英仙 RY 星以及在马克当纳天文台用两米的望远镜对于仙王 CQ 星寻找过这种现象。他们寻得的结果是偏振光异常微弱，相比较而言，$A_0$ 型的星所发的光有一部分是偏振化了的。

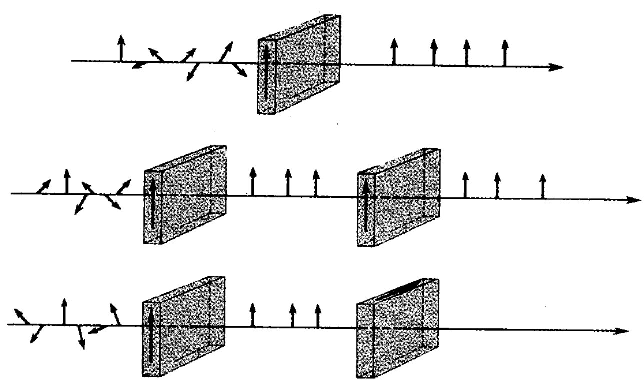


图 750　只让垂直方向振荡通过偏振片的示意图

第二个平行的偏振片(中图)没有发生什么改变，但是如果把它的平面转过 90°(下图)，则所有的光线都通不过去。

1948 年，这两位观测者进行了独立的工作，都证实了以前的结果。1951 年有 841 颗星经过观测，由不同观测者独立进行测量的结果是很吻合的。偏振度总是很小，一般是 3%～4%，只有一种情况达到 7%。由统计表明，发出偏振化了的光的星总是集中在银河平面附近。一般说来，和电场方向相同的偏振面的方向是和银河平面平行的(图 751)。偏振度基本上不随所采用的星光的波长而变化。

要解释这一种效应，我们必须从它和别的因素的关系上去探索。我们首先想到的是，星光的偏振化可能受到星际物质的影响。我们实验中的偏振镜含有许多电气石的平行小晶体，它们能吸收某一方向上振动的光，而让和这方向正交的振动的光通过。如果空间内含有和这些相类似的晶体，而且这些晶体又排列整齐，星光的偏振现象当然容易得到解释；如果晶体是星际物质的一个成分，星际物质当然和星光偏振有关。

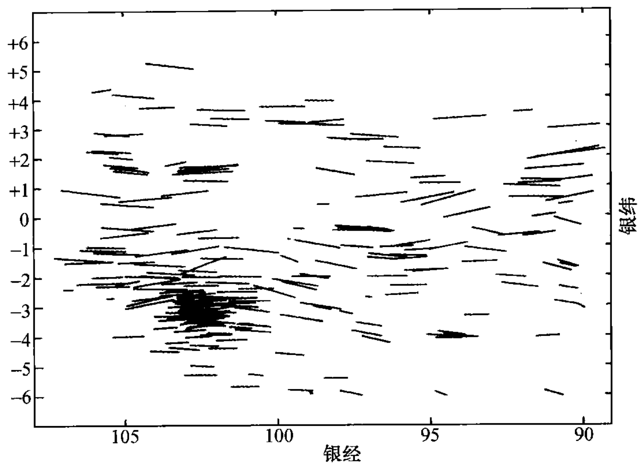



图 751 光线偏振化了的每一颗星在图上用一段直线表示，它平行于偏振的方向，直线的长度与偏振的程度成比例。这些线段差不多都是平行而且相等的，这就说明偏振不是星本身的特征，也许是银河系的特征，而且偏振面和银河面是一致的(仙后区，根据许特内尔的测量)

这种现象虽然存在，但却没有我们所想象的那样明显。我们可以说，强的吸光表现为强的红化，当然就会有偏振化，但是我们却认识只有红化而无偏振化的恒星。

偏振光和星际谱线的关系也不清楚，在 4 430 埃处来源不明的光带好像比别的光带和偏振光联系更要密切。根据观测，邻近星的偏振情况可能很不相同。昴星团里只有一颗星有偏振光，还有一对双星，只是主星有偏振光。

我们说过，星光的偏振面颇有规则，大致和银河平面平行，但也有些不规则的情形，这在天鹅座的区域内比较显著。

我们将怎样解释这些现象呢？现在的理论都以偏振化的光起源于平行方向的小晶体为依据。但是有多少可以想象到的晶体，就有多少相应的理论。斯比泽尔(Spitzer)和图克(Tukey)认为，这些应当是放在磁场上的氧化铁的小晶体。根据理论，费米推出银河系的磁场比地磁场弱，约为它的一百万分之一，可是，即使是这样弱的磁场已经足够说明偏振光了。但是这个理论也遇到大的困难，因为分子对晶体的碰撞会把晶体的方位弄乱。戴维斯(Davis)和克雷(Cree)研究小晶体在磁场内的运动，以便维护这一理论。他们的结论是，银河平面内应当有一个比费米所研究的磁场强大得多的磁场。

这疑谜将怎样得到解决呢？这是由于一些粒子的所悉知的性质所引起的呢，还是如

同麦克逊的实验所表示的有革命性的效应引起的？偏振化是不是空间的平常的性质？现在要回答这些问题尚嫌太早，还有待于新的观测结果了。



图 752　巨蛇座星云 NGC6611 内表现出发光和黑暗两种星云极度混淆的情况，其中也有被博克认为是形成恒星的球状体

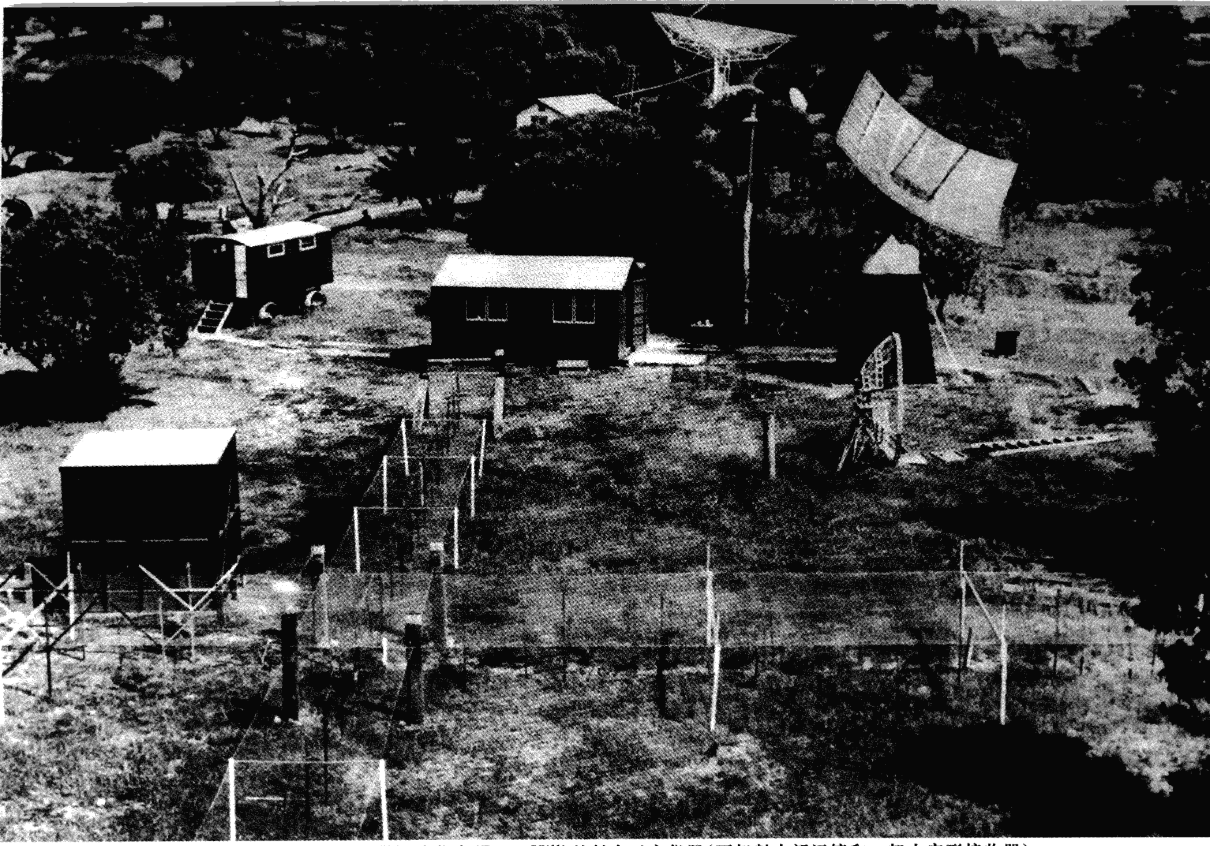


图 753　澳大利亚悉尼附近波茨山(Potts Hill)的射电天文仪器(两架射电望远镜和一架十字形接收器)

# 第五十五章

# 射电天文学

我们说过，太阳发射射电波段的电磁波。用来观测太阳的射电望远镜也可以用来探测星际宇宙。这样探测所得的结果是很有趣的，这一章里我们简略地作一个介绍〔想对射电天文学作进一步了解的，请参看许克洛夫斯基所著的《无线电天文学》一书，科学出版社出版。——校者注〕。

1931 年以来便已经发现有电磁性的射电波从银河星系发射出来。央斯基(Jansky)在美国贝尔公司工作的时候，发现他所研究的 15 米波上的寄生噪声随地球自转的恒星周(即 23 时 56 分而不是 24 时)而变化(图 754)。他说明，这辐射是从人马座，即银河中心的

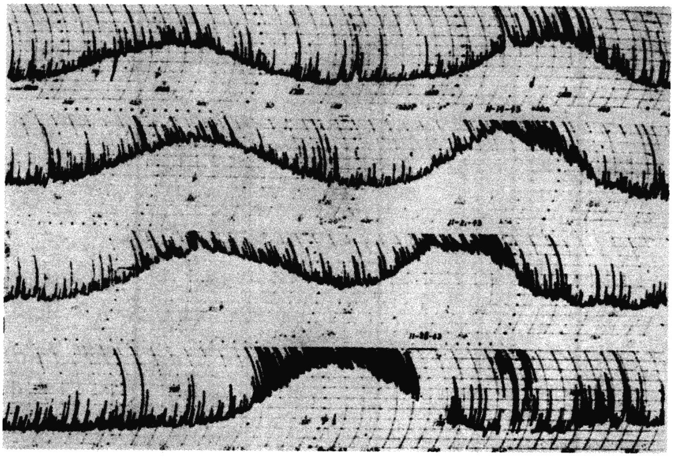


图 754 **太阳(右边)和银河系(左边)射电波的记录**

由于太阳在群星之间的运动,太阳有时挨近了银河面,每年 12 月太阳在人马座里的时候,两个记录重合在一起。锯齿形的记录是由大气和工业的寄生振荡而来引起的。

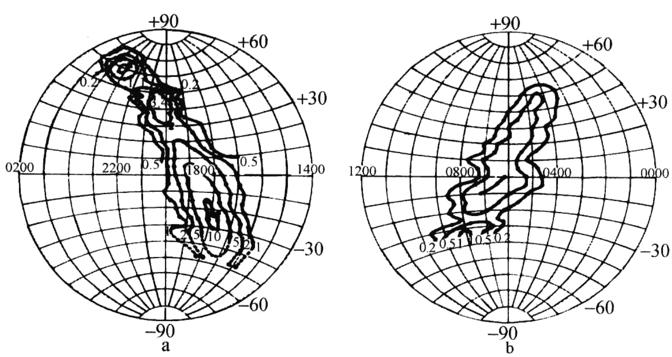



图 755 **银河系射电源所描绘的图**

这些射电源描出银河的轮廓(默东天文台)。

方向而来。

今天我们对央斯基的观测已经不感觉奇怪了。因为我们知道,这种发射超过太阳的发射,所以在白天就可以观测银河系的射电波而不受太阳的干扰,而在强度上,这两处的辐射是差不多的。

自 1940 年以来,这种观测被积极地进行着,我们已经绘出银河系的射电发射图(图 755)。对恒星的射电研究得知,这些辐射是从银道面南北两旁各 15°的一带而来,极大是在银经 330°,即在银河系中心的方向。这些结果好像和探测的波长无关,不过因仪器的分辨力差,这些区域的界限很不明确。

**氢原子 21 厘米波长的谱线** 1945 年,荷兰少年天体物理学家范·德·胡斯特说明,中性氢原子在某些情况下应该发射 21 厘米波长的射电波。这种谱线的性质大约是这样的。物理学家说明,原子只能存在于某些能量状态下。根据量子力学,我们可以计算这些状态下的数值,而且可用图来表示,如像我们以前所说过的那样。量子理论经过各种改进以后,说明这些能量状态(或者能级)不是简单的,而是有一种精细结构。这种成分经索末菲(Sommerfeld)据相对论予以说明,现在的解释是因电子不是一个静止的电荷,而是一个自转的电荷。在这精细结构之外还有一种超精细结构,由波动力学可以解释为,它是由于

原子核的自转而形成的。

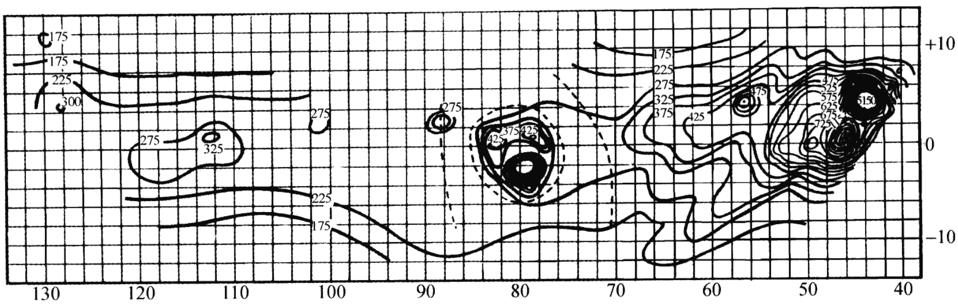



图 756 仙后座里银河系的射电源

在基态里，氢原子不发出精细结构而只发出超精细结构的能量，其基本能级分解为两个异常接近的能级，其间的距离只有通常两能级之间的距离的 1/200 000。

在常态下，这些邻近的能级上都布满着电子。当电子从高能级跃迁到低能级的时候，电子就发出 21 厘米波长的谱线；由低能级跃迁至高能级的时候，就形成吸收(图 757)。

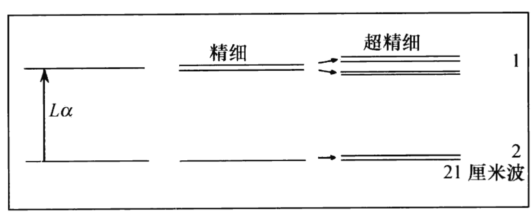



图 757 氢原子能级(1 与 2)示意图

如果我们不讨论细节，可以把能级当做是简单的。如果讨论到精细和超精细结构，能级便分解成这个示意图所表示的情况。小箭头代表范·德·胡斯特的 21 厘米波长的谱线。

这种跃迁好像是不可能的，但是只有在实验室里是不可能的，在星际空间里则常有可能。范·德·胡斯特的研究起初没有引起人们的注意，经过 6 年后才证明，银河系里真的有发射 21 厘米波长的辐射。1951 年 3 月 25 日，尤尔(Ewer)和珀塞耳(Purcell)在哈佛天文台发现了这种短波射电，同时荷兰的奥尔特和他的助手米勒也发现了它。在这位大学者手里，收获就很丰富。

我们早已知道，空间有着由氢原子结成的云，但这只限于热星附近。那里的氢原子基本上处在电离的状态下，当它再降落到中性状态下的时候，发出各种辐射，其中就有 $H_\alpha$ 那条红色谱线。现在特别把这个区域叫做 HII 区，以区别于中性基态下的氢所组成的新的云区，后者叫做 HI 区。来顿天体物理学家所观测到的就是这些 HI 区。

这样的探测好像不会达到很远的区域，和我们接近的氢会把银河系里别的氢掩蔽住了。幸而，因银河星系的自转，实际并不是这样的。

假设有 $A$ 和 $B$ 两堆氢云(图 758)，$B$ 比 $A$ 更和太阳 $S$ 接近。这两堆云从太阳看上去是在同一个方向上。我们在下一章就会知道，这两堆云和太阳都环绕银河系的中心以不

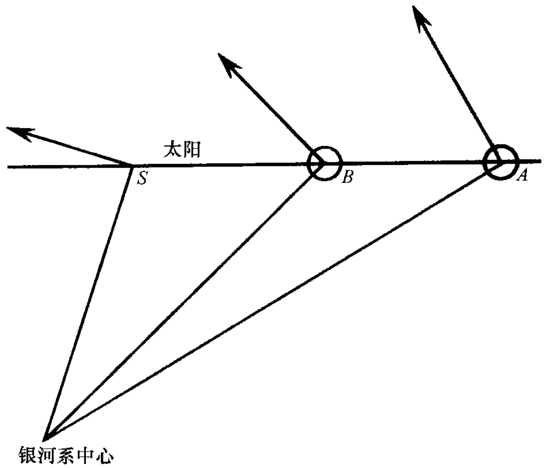



图 758　*A* 和 *B* 两堆氢云和太阳的示意图

同的速度自转。*A* 云所发出的电磁波达到太阳 *S* 的时候，频率已经遭受多普勒效应的改变。*A* 云所发出的电磁波经过 *B* 云的时候，并不会被吸收，因为云的吸收具有选择性。从 *A* 云而来的辐射，因多普勒效应和 *B* 云所发出的已经不相同了；从 *B* 云到达太阳的辐射，也已经是由于 *B* 对于 *S* 的运动而产生了频率上的改变，所以射电天文学家接收到的是两个稍微错开一点的辐射（图 759）。由于我们已经有了银河系自转的知识，所以可以利用这些位移去测定这些氢云的距离。

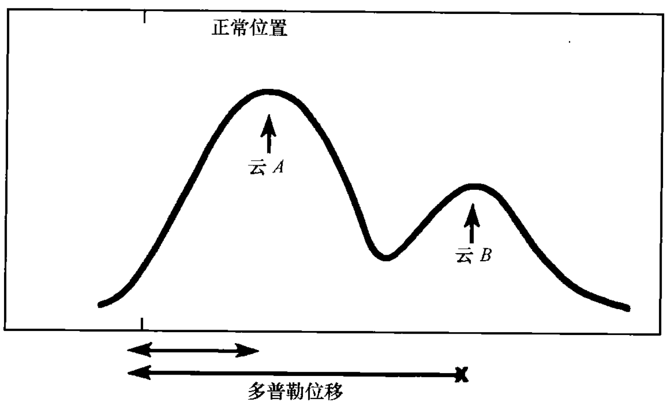



图 759　来顿天文学家所作的记录举例

他们所接收到的辐射都具有因多普勒效应而产生的移位。第一个峰由于近云 *A* 而来，第二个峰由于远云 *B* 而来，由多普勒位移可以算出这些云的距离。

奥尔特和他的学生就是这样绘出氢云在空间的分布图，范围之远超过 5 米甚至 50 米口径的望远镜照相所能达到的范围。因为有了射电天文学的贡献，我们才第一次明确地描绘出我们的旋涡星云的臂部。

图 777 表示这样绘出的一个图，因为观测还不完全，特别是缺南半球的数据，所以这张图还不很完全。十分惊异的是，我们的旋涡臂差不多是圆形的，而人们一般把我们的星系当做 Sb 型（图 790），这就很值得怀疑了。

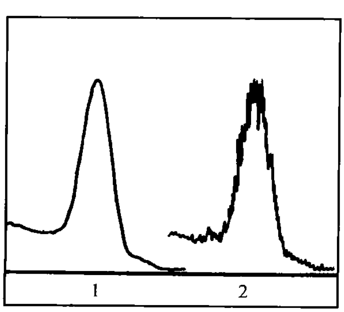



图 760　射电点源经过射电望远镜时所作的记录

仪器是固定的，周日运动使星经过射电望远镜的"视野"。由经过的时刻、仿效目视观测的方法求得赤经、赤纬。在 2 处的真正记录上，有许多起伏（天鹅座里的射电点源据焦德雷尔班克的观测）。

**点源**　关于银河系里发射的细节的研究使我们发现一种以前不知道的天体。1948 年，英国的射电天文

学家海伊(Hey)、斐利蒲(Philips)和帕森斯(Parsons)发现，在天鹅星座里发射出一种射电波，变幅很大，周期在数秒至一分之间。他们说，这种波可能是由射电点源而来的，像光线一般受了空气的闪烁作用。他们的看法得到博尔顿(Bolton)和斯坦利(Stanley)使用类似的研究太阳所用的干涉仪的证实。他们证明，天鹅座里的射电源范围小于 8′，约为月亮的 1/4(图 760)。

当然，这几位天文学家赶快在星图上去寻找哪一颗星发出这种射电波。虽然这个方向的坐标 $\alpha$ 为 19 时 57 分 45 秒，$\delta$ 为 40°35′是很确定的，可是那个方向上却没有一颗星。不久，博尔顿又发现许多射电点源，如在金牛座内和室女座内的。特别重要的是，赖尔(Ryle)和史密斯(Smyth)在仙后座内所发现的强射电源，比天鹅座内的点源差不多要强两倍，但也不能找出一颗星作为射电波的来源。

这样使我们想到，这种波是射电星发出的，它们只发出这种电磁波而不发出可见光(图 761)。射电星便成了我们需要解决的疑谜。

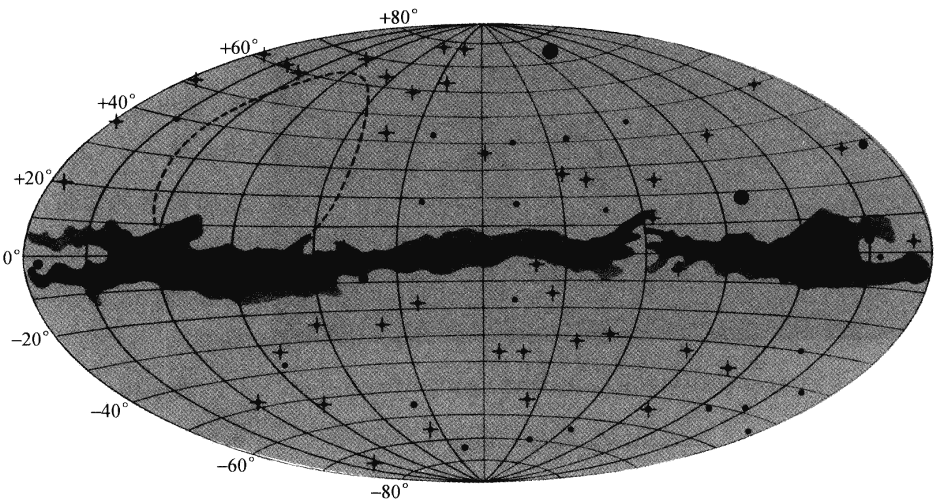



**图 761　天空 77 个射电点源的分布(银河坐标，米尔斯绘)**

1. 金牛座里的射电源现在已经确认是属于蟹状星云的，我们已经研究过这个星云，它是 1054 年超新星爆发以后的残迹(图 762)。这颗超新星在中国史书里是有记载的〔《宋史·天文志》中有下列记载："宋至和元年五月己丑，客星出天关东南，可数寸，岁余稍没。"——译者注〕。

仙后点源的区域曾使用帕洛马山 5 米口径的望远镜，借氢光($H_\alpha$)拍摄，拍得一个小星云，但是它却和第谷在仙后星座内所发现的新星没有关系。

2. 据最近的干涉测量证明，和以上的结果相吻合，这些射电源不是一点，而是有一个

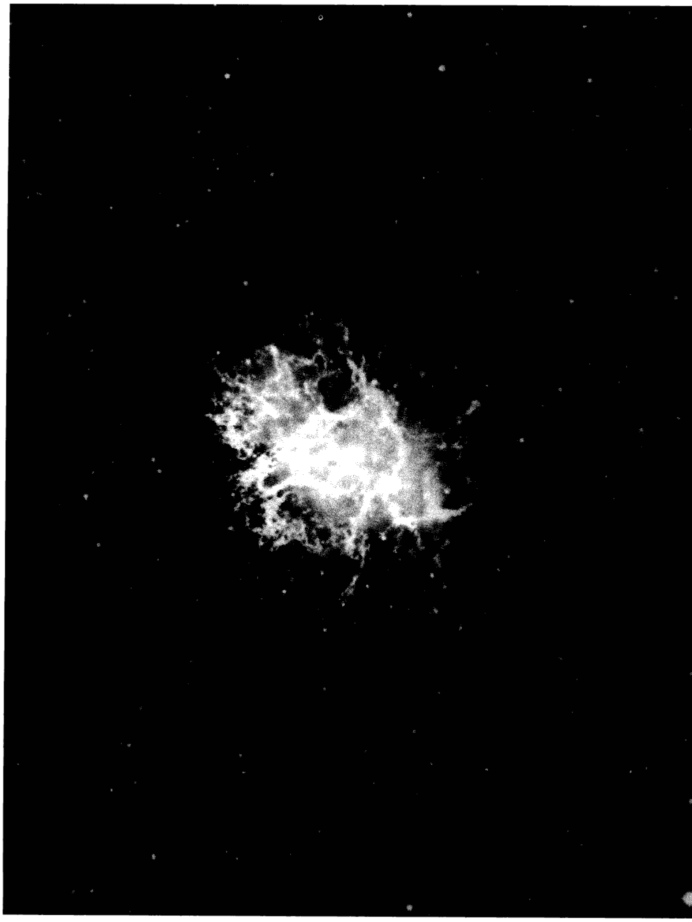


图 762 金牛座里的蟹状星云 NGC1952

这是 1054 年超新星的残迹，也是第一个被人确认的射电源。这是用氢的红光($H_\alpha$)所拍摄的像。北方在图的左边。

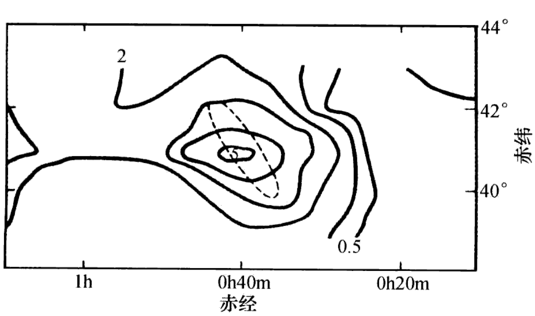



图 763 仙女座星云的射电源

曲线代表射电的等强轮廓(波长为 1.89 米)，中心强度为 5，边沿强度为 0.5。

小的直径。例如，仙后座椭长点源约为 4′，天鹅座点源约为 3′。

3. 在这些近似于点的射电源之外，最近的研究还发现范围比较广大的射电源，如在半人马座里所找到的。

这使我们立刻想到，这些射电源是不是很多，足以用来解释银河系里的电磁辐射的总量。最近的结果还没有肯定这种看法：有人认为，射电星好像没有光学星那么多，不能说明电磁辐射的总量，而赖尔却认为，射电星的数目应该和可见星一样多。

我们刚才所指出的射电源，好像是属于我们旋涡星云。这个星云里电磁辐射的能量应当是很大的，因此根据类比推理，河外星系里也应该有射电源。我们由仙女座大星云(图 763)和几个大的河外星云已经得到证实。与河外星云相联系的还有两个来源：室女座里的射电源是一个圆形小星云，那里还嵌有一个喷气式的物件。这个

例子和天鹅座的射电源一样，巴德认为是两个河外星云发生了碰撞。但是进一步的研究，使人怀疑这个看法，许多射电源可能是经历了灾祸般的爆发之后的星系残迹。

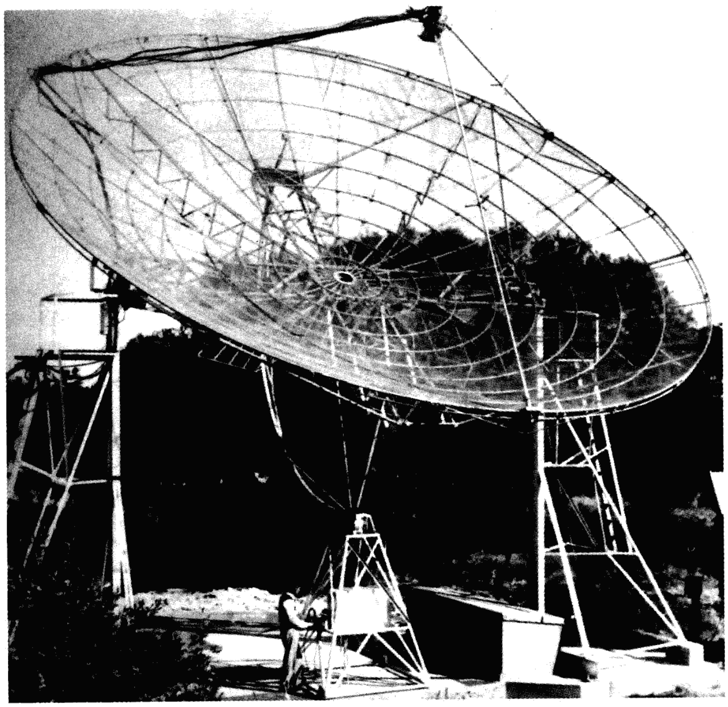


图 764 地平装置 10 米口径的射电望远镜（在悉尼附近的射电物理实验室）

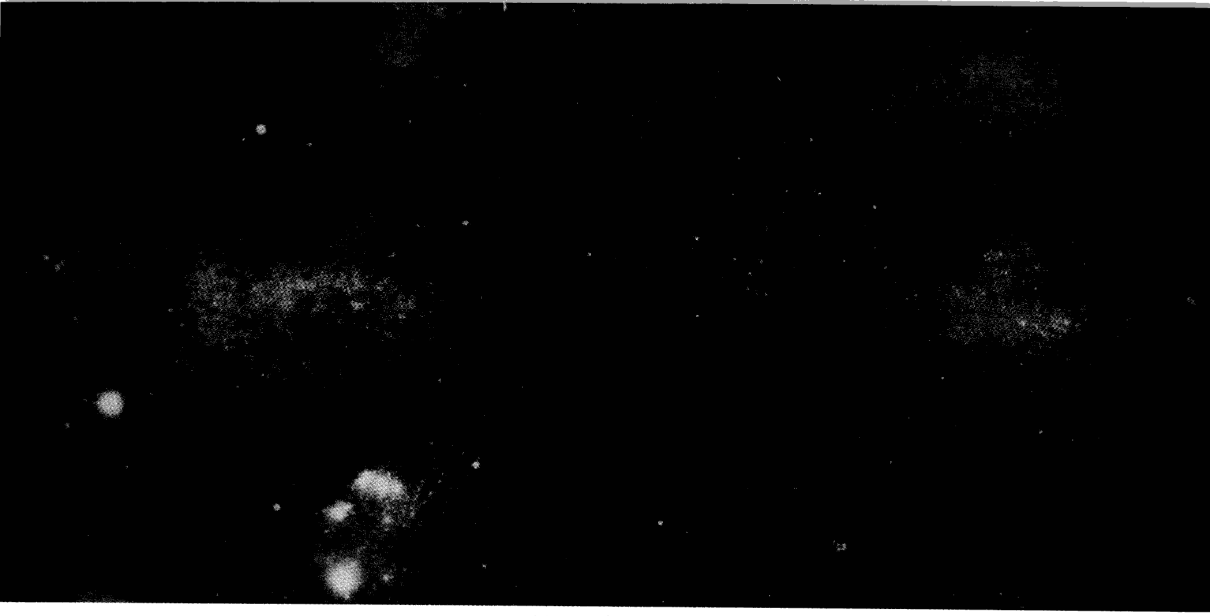


图 765　银河的照片

# 第五十六章

# 银　河　系

银河系最伟大、最奇妙的景象便是银河。夏季晴朗的夜晚里，肉眼中的银河就像是一条用乳点铺成的道路，界限模糊，横跨于星座之间而高高悬挂在天空。在法国境内所能见的部分起自天蝎座，中经人马座内的特别明亮部分，然后到达了盾牌星座。这三个星座里美丽的星团和星云特别丰富。最小的望远镜，即使是一个双筒镜，也可以在这里欣赏天空的奇景(图 765、图 766)。

银河经过天鹰座和天鹅座，在这里银河被分为距离约 15°的两个支流，北支接触蛇夫座、武仙座和天琴座，南支经过牵牛星座和狐狸星座，这两支又在天鹅座 α 星附近会合。

这以后，银河逐渐暗淡下来，跨过仙后座和英仙座。以后的部分只有冬季才可以看见，经过御夫、双子、金牛、猎户与麒麟等星座。天球南半球的星比北半球更为丰富。银河经过南船座的船尾与船帆，于是到了半人马座、南十字座，再经过矩尺座，而又重回到出发



的天蝎座与人马座。

以前对某些星进行特殊研究时，我们说过，银河是我们星系里的主要部分。所以我们的星系专称为银河系。当然我们需要仔细讨论一下。基本上看来，银河在天球上描绘出一个大圆圈。这样就可以说明，太阳差不多在银河的平面内。如果太阳在北，银河将悬挂在南方的天空；反之，太阳在南，银河则在北。银河的平均平面的位置很难精确地测定，为了统一认识，天文学家选定经过天赤道上 $\alpha$ 为 18 时 40 分之点和赤道相交成 62°的大圆作

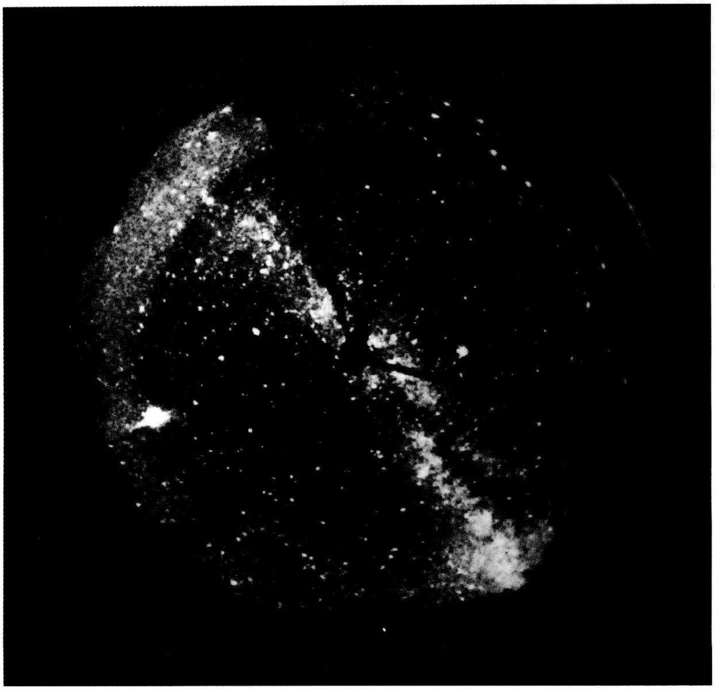


**图 766　全天摄影表示夏夜的银河**

为拍摄全天，我们放一个垂直轴的球面反射镜向着天空。照相镜拍摄反射镜里的天空。图中三条黑杆是用来支撑照相镜箱的，中心的黑块即是照相镜箱的投影。左边沿上的大白点是木星，四周黑影是地平线上的树木。

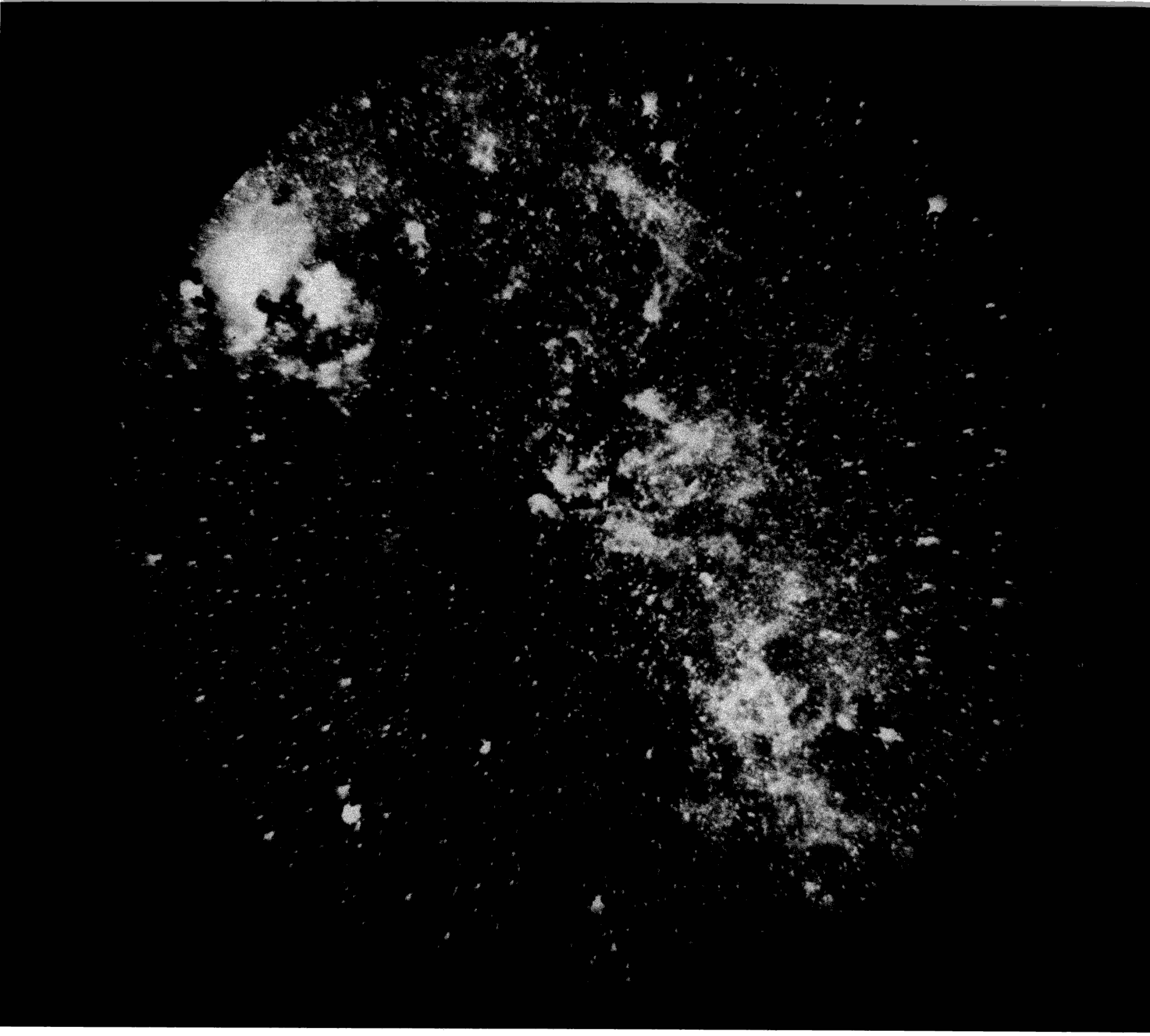
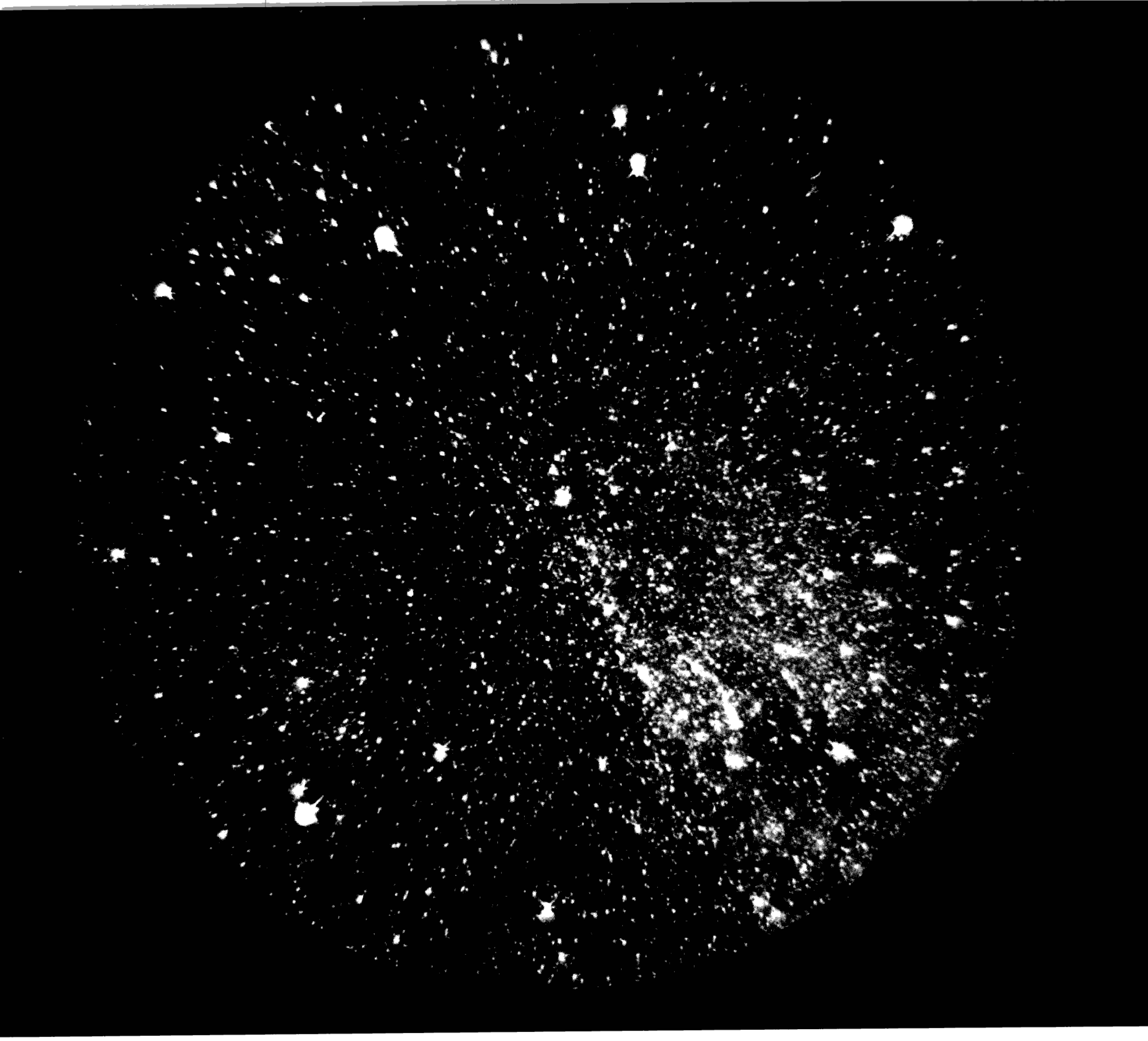


**图 767、图 768　这是天鹅座里同一星区的两张照片，左边一张是用氢的红线 $H_\alpha$ 拍摄，右边一张是用和 $H_\alpha$ 很接近但不是氢的辐射所拍摄的。氢的辐射已经被证实存在于银河之内。左上方是美洲星云(参看图 743)**

为银河平面。(参看《天文爱好者》月刊，1966 年分期刊印的全天星图。)我们可以将这大圆分刻为度数，并且采用银河平面和赤道的交点为原点〔1961 年，国际天文协会采用一种新的银道坐标系，以银心的方向为银经的起算点，相当于旧制的银经 325°〕，于是我们定出一种银道坐标系，称它为银经与银纬(图 769)。

现在将以上各章所得的一些结果合并在一起，将银河系大概的情况叙述一下。

**银面聚度**　星的计数给我们表明，星在银河面内比在银极要多得多。这种银面聚度对于亮星已很显著，对于暗星更是这样。我们试举数字来表示这一情况：在银面内的 4 等星是在银极的 2 倍，而在银面内的 21 等星是在银极的 17 倍。我们说过，这种效应的原因是因银河系是一个很扁平的星系。根据对自身很亮的星的聚度的研究也可以证明这个结



论。例如，O 型星和 A 型星、行星状星云、新星、造父变星、发射星云、疏散星团等天体在银道面附近都要多些。天体的自身亮度愈大的，这种银面聚度也愈大。对于扁平星系而言，这是容易理解的：暂时假定我们的星系被两个平行的无限平面所分割开（图 770），太阳在这两个平面之间。在这个平面上的法线指向银极的方向上，我们观测到图 770 内被上边的一个平面所分割开的小圆锥内的星。在银河平面内，这个圆锥的范围就扩大到我们的观测工具可能达到的界限处。这个球的大小将随星的亮度增加而增加。

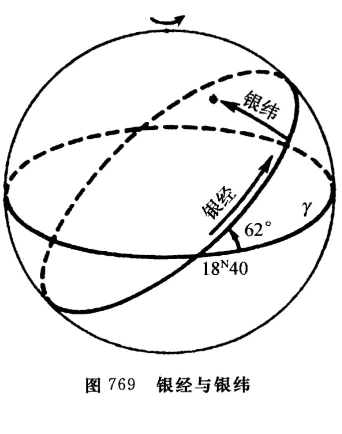



图 769　银经与银纬

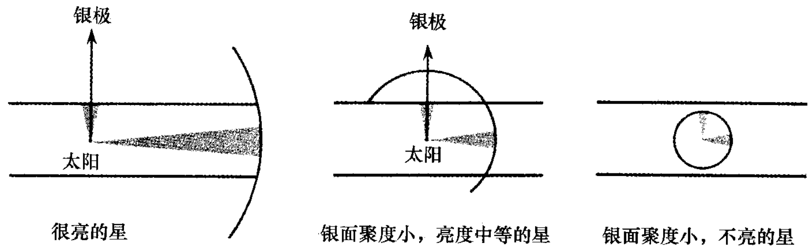



图 770 当观测能够分别达到 1 800 秒差距、600 秒差距和 300 秒差距的星的时候，我们所能探测的银河区域的示意图。 可观测的星的数目与灰色锥的体积成正比例

图 770 表示三群亮度逐渐变小的星的聚度。天文学家根据观测的结果去了解我们的银河系的深度与范围。观测时遇见的一个困难便是，星际物质的存在把银河系远处的部分掩蔽了。我们说过，根据对疏散星团的研究，证明每 1 000 秒差距内有 0.8 星等的吸光，因此计算恒星的距离时应当特别注意这一点。

特朗普勒证明，疏散星团基本上包括在 400 秒差距厚的一层内。太阳是在对称面之北 20 秒差距处的那一层内。

马克洛林(Mclaughlin)对于新星的分布的研究给银河系的研究以很大的启示：所有的新星都在 500 秒差距厚的一层内，而且它们大多数距离太阳都在 3 000 秒差距以内。但是在人马座的方向上新星最密，这个方向上有几颗新星在 10 000 秒差距处。更远一些，这些星就被星际物质遮掩了。

别的银面内聚度大的星的分布也说明以上这个启示。我们的扁平星系在太阳附近大约厚 400 秒差距，中心在人马座的方向上，距离大于 3 000 秒差距。根据对新星的研究，这个距离的数量级也许是 8 000 秒差距至 10 000 秒差距。

关于球状星团研究所得的结果是很重要的。这些星团因为含有短周期变星，容易求出它们的距离。球状星团的分布是很奇特的，因为它们和亮度大的星恰恰相反，银面聚度为零，全部球状星团基本上在半径 2.5 万秒差距的球体内。球状星团的中心在人马座的方向(银经 327°)上，距离是 9 000 秒差距，它处在新星最密集的区域里。我们现在根据这些数据将我们的银河系描绘出一个轮廓。

全部恒星形成一个扁平的轮，直径长 3 万秒差距或 10 万光年(图 771)。这个星系的基本面就是银道面，中心在人马座内。太阳在距离中心 9 000 秒差距处。在太阳附近处，这个星系的厚度约有 400 秒差距，而太阳位于对称面之北约有 20 秒差距处。中心附近的厚度，可以由银河的视直径推算出，约为 5 000 秒差距或 1.6 万光年。

球状星团所组成的系和银河星系有相同的中心，基本上是球形的，直径比银河星系的直径长些。在这个球形里，除球状星团以外，还有一些天琴RR型星和几颗特殊恒星，例如具有很显著的金属光谱的星。现在有人把这些外围区域叫做银晕。




**图771　从边沿看银河系的示意图**

中心有一球状的核，臂向左右伸出。银晕里只有球状星团和少数属于星族Ⅱ的星。晕的界限很不分明，但远远超过正式的银河系的范围。注意太阳在左边一臂的偏心处。

我们再谈一些从视向速度得来的知识。对于近星而言，太阳是以20千米/秒的速度指向武仙座内的一点运动。但是这只是相对于我们的近邻星的相对运动。我们已经说过，如果我们选择更广大的星系，如球状星团或者河外星系所组成的系统作为参考的坐标，结果就会大不相同。

对于这些远方的星系来说，太阳的速度大约是280千米/秒，方向是指着天鹅座内α星附近的一点。这一点在银道面内，恰与人马座里的那个方向成90°。这样就说明，太阳作为一个成员的本星系围绕着银河中心旋转，其转动的速度为280千米/秒。太阳向武仙座去的速度可以当做是太阳对于本星系特有的速度。

所以，太阳离银河系中心为9 000秒差距，以280千米/秒的速度运行。根据简单的计算，太阳绕银河中心自转一周需要两亿多年。这是我们银河系的自转周期，更确切一些，便是太阳附近的周期。因为银河系不像刚体那样做整体的转动。奥尔特首先研究了组成银河星系的恒星云的运动。

假设银河系里大部分的质量汇聚在中心，每颗星都将围绕着这一点，按照开普勒定律运行在一个椭圆轨道上。为简化模型计，我们可以假设，所有的轨道都是圆周，如像太阳系里的行星所运行的轨道一样。在这些情形下，每颗星的圆周速度只取决于它到中心的距离。如果我们知道银河系里物质分布的情况，这些速度是可以计算的。反之，由已知的280千米/秒的速度并利用开普勒第三定律可以求出银河系的质量和太阳质量的比例。根据计算，银河系的质量相当于2 200亿（$22\times10^{10}$）个太阳的质量。银河系里的质量既不是密集于中心，也不是均匀分布于周围，因此它的成员的轨道并不确切地遵循开普勒第三定律。如果我们了解这个定律的真实情况，我们便可以推求银河星系里物质的分布。这就是我们所要说

明的。

暂时还须假设，所有的星环绕银河系中心走圆周的轨道。这些轨道的周期和速度(以千米/秒表示)都不相同。只是离银河系中心一样远的星，速度是相同的。

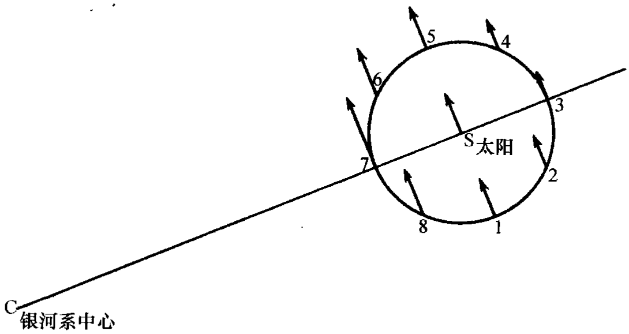



图 772 银河系较差自转说明图

如果我们讨论的是两颗近邻星，它们的轨道彼此相近，速度也很接近，因此这两颗星的相对位移是难以查出的。可是它们的较差效应是可以观测到的。奥尔特研究过银河系的较差自转。我们介绍一下，这位荷兰天文学家是怎样理解这个问题的。在图 772 里，C 表示银河系的中心，S 表示太阳，1、2、3、4、5、6、7、8 分别表示八颗星的位置。假设这八颗星和太阳很相近，而且距离太阳一样远。1、5 两颗星与太阳距离银河系中心一样远，因此它们也以 280 千米/秒的速度绕 C 点转动，它们和太阳的距离不会改变。对于我们来说感兴趣的是，这两颗星对于太阳的视向速度为零。至于 3 和 7 两颗星，因为它们距离银河中心不与太阳相同，所以它们的轨道速度也不与太阳相同。事实上，星 7 比太阳的速度大，星 3 比太阳的速度小。但是 S、3 和 7 三颗星的速度都和视向 S-3 与 S-7 正交，因此 3 和 7 相对于太阳的视向速度也为零。至于另外四颗偶然记号的星 2、4、6 和 8 的速度和太阳的速度相比，既非相等，又不平行，因此它们对于太阳的视向速度是可以观测到的。这种因银河系自转而来的特殊速度，随星和太阳的距离而增加。对于 1 000 秒差距处而且同处于一象限内的恒星，这效应达 19 千米/秒。我们谈一下怎样表明这个效应。首先，测量在银道面内很多恒星的视向速度。若把我们的特殊运动的速度除去，每颗星的剩余速度便是星的特殊运动的速度和较差自转的速度之和。由互相接近的很多颗星的平均速度，我们可以抵消掉星的特殊速度，因为特殊速度是任意分布的，在平均值上就互相抵消了。我们现在举一个有数字的例子来说明这个互相抵消的情形。假设有六颗星，它们的特殊速度如下表中所记载的那样，并且都有一个较差效应 18 千米/秒，我们所观测到的速度记载于第三行，即是前两行数的总和。

| 特殊速度 | −25 | −12 | 0 | 13 | 15 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 较差效应 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 观测速度 | −7 | 6 | 18 | 31 | 33 | 36 |

观测速度的平均数是 20，与 18 的数字很是接近。这两个数字之所以有这样显著的差异，就是因为所取的星的数目太少了的缘故。

因较差效应和星的距离有关，所以我们只能借助于一群和太阳距离相等的恒星去求它们的较差效应的平均数值。

在图 773 上，奥尔特的效应很是明显，这张图是将平均的剩余速度表示为星的银经 λ 的函数。自然，较差自转在自行上也造成相类似的效应。对于视向速度，这效应是和距离成正比；对于自行，这效应就和距离无关。这是容易理解的，因为如果较差自转随星的距离成正比例而增大，但由这速度而生的角位移却和距离成反比例而变小，因此这两个效应是互相抵消的。自行变化的幅度很小，每年只有 0.004 弧秒。因测量到的自行很多，于是测量的结果便有可能达到相当高的精确度。

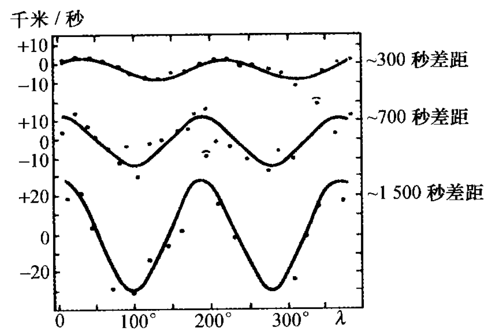



**图 773　视向速度的振荡**

对于在 300 秒差距、700 秒差距、1 500 秒差距的星进行测量的结果，这效应经奥尔特给予解释。

由视向速度随银经度而变化的曲线可以求出银经差约 90°时银河中心的方向。这条曲线在银经 55°、145°、235°和 325°等处为零。因为 325°是在恒星最多的人马座内，所以我们可以把这个数值当做是银河中心的方向。

从视向速度和自行所算出的常数是互相吻合的。由这些数值的讨论表明，恒星围绕银河中心运行的轨道并不遵循开普勒第三定律，如同假设银河的质量大部分汇聚在中心所应有的那样，因为银河系里质量的 1/4 分布在旋涡臂上。

**高速度的恒星**　由视向速度的研究发现一些具有快速度的星。举例来说，有 283 颗星的视向速度快于 65 千米/秒，因而它们的空间速度也快。米塞卡(Miczaika)编了一个快速星表，有成员星 600 颗。

它们在天球上的分布并不表现出任何特点，但是它们的速度却有一些简单的规律。这些速度都和银道面平行。如果在银道面上以箭头来表示这些速度，则绝大多数的箭头

指向银经 175°和 305°两个方向。

这些星的运动可以对银河自转的研究提供解释。我们曾经假定所有的星都围绕银河中心走圆周的轨道。如果我们取消这个假设，试研究一下情况将会是怎样的。在太阳那里，圆周轨道的速度是 280 千米/秒，如果轨道是椭圆的，这速度将随偏心率和星在轨道上的位置而大有变化。

现在讨论一下图 774 上所绘的两个简单的情况。在第一个情形(椭圆 $E_1$)，如果星在轨道上的近星点，即是说，它和银河中心最接近的时候，它的速度的方向和太阳的圆周速度的方向相同，但是它的数值要大一些，于是相对于太阳，这颗星便向银经 55°处移动。凡是走像椭圆 $E_2$ 的星，因为它们的速度比太阳的速度小，它们的视运动将指着相反的方向。从我们银河系的结构得知，太阳邻近的星的速度不能和圆周运动的速度成大于 30°的角。更完全的推理可以说明恒星速度的分布。我们知道一些事实，显著的是星过近星点时，它的速度不能超过某一极限值，速度再大，星就逃出了银河系。根据奥尔特所求得的，这极限值是 330 千米/秒。

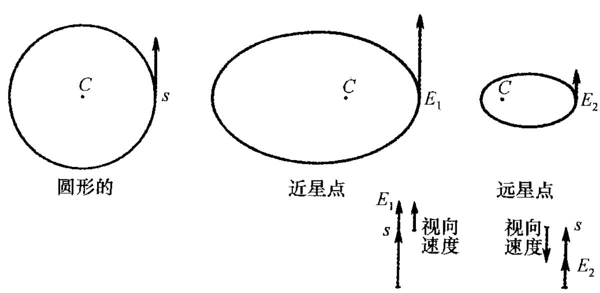



**图 774　太阳和两颗运行在椭圆轨道上的星的速度**

这三颗星都绕银河中心运行，但是它们的速度大不相同，这表现在图上。箭头 VR 代表星 $E_1$ 和 $E_2$ 对于太阳的相对视向速度。

快速度的星在太阳附近仅是暂时的现象。它们在遥远的过去比现在更靠近银河系的中心，所以它们是从核心而来的标本。

根据近来的研究，我们知道，核心的星属于星族Ⅱ，所以研究快速星是有很大意义的。

下表综合地记载了银河系的物理数据：

银河系

| | |
|---|---|
| 银面内的直径 | 3 万秒差距或 10 万光年 |
| 中心密处的厚度 | 5 000 秒差距或 1.6 万光年 |
| 扁度 | 1/6 |
| 球状星团系的直径 | 5 万秒差距或 16 万光年 |
| 太阳附近银河系的厚度 | 400 秒差距或 1 300 光年 |
| 太阳到中间面的距离 | 北边 15 秒差距或 50 光年 |
| 银河系中心的方向 | 银经 325°(人马座内) |
| 中心至太阳的距离 | 9 000 秒差距或 3 万光年 |
| 太阳附近的恒星速度 | 280 千米/秒 |
| 该速度的方向 | 银经 55° |
| 自转周期 | 2.2 亿年 |
| 总质量 | 2 000 亿个太阳的质量 |
| 核心处的质量 | 1 600 亿个太阳的质量 |
| 平均密度 | 每立方秒差距内有 0.1 个太阳 |
| 每边 1 000 千米立方体内的平均密度 | 7 克 |
| 绝对星等 | —18(约等于 10 亿个太阳的亮度) |

直到现在，我们只假设银河系里的星是均匀地分布在球或椭球里，还没有谈到它的细微结构。因为研究上的困难，第一步不能不有这样简单化的模型。幸而从银河系的研究表明我们的星系和旋涡星云，特别是和仙女座内的大星云很类似，这样就便利了天文学家的研究。为了叙述便利起见，我们将要把银河系的研究归并到河外星云那一章里去，以免对某些概念的重复叙述。读者可以先读那一章，然后再回来重读这一章。

**银河系是一个旋涡星云**　我们的银河系类似于我们在下一章所要讨论的旋涡星云，这好像是确定的事实。天文学家把银河系当做是和仙女座大星云一样的星云，同属于 Sb 型。它应当有一个相当大的核心和相当发展的臂。我们说过，因奥尔特和他的同事所从事的射电天文学的研究，对这旋涡臂人们已经可能探测到相当远的区域(图 777)。

我们很惊异地发现，银河星系的臂差不多是圆形的，我们现在怀疑银河系和仙女座星云为同一类型的看法，我们的星云更近于旋涡臂不太张开的 Sa 型(图 790)。奥尔特的测量也表明，银河系转动的方向是银河的臂的凸出部分的运动方向。如果这些臂譬如是固定在转动线筒上的线，那么这些线便会卷起来的。

摩根(Morgan)按照研究和 O 型星与 B 型星联系的氢气云的分布，绘出了一个类似的图形(图 778)。这些星的距离容易从它们的视星等推出，所以我们可以定出它们所在的云



图 775、图 776　蛇夫 45 附近星区的两张照片是迪费用法国南方天文台的施密特望远镜拍摄的。左图用蓝色辐射拍摄，星少，只有几个吸光区域。右图用红外线拍摄，出现的星很多。这种区别主要是因吸光云掩盖了银河的广大区域。红外线很少被云吸收，因此星得以明晰地显现出来。即使在右图的上方，吸光现象也还很明显

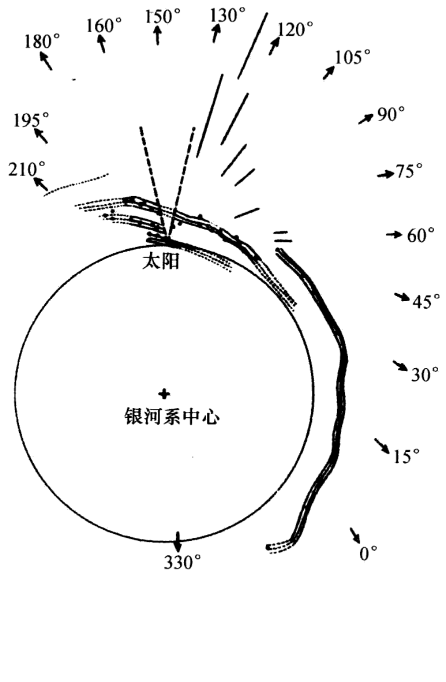
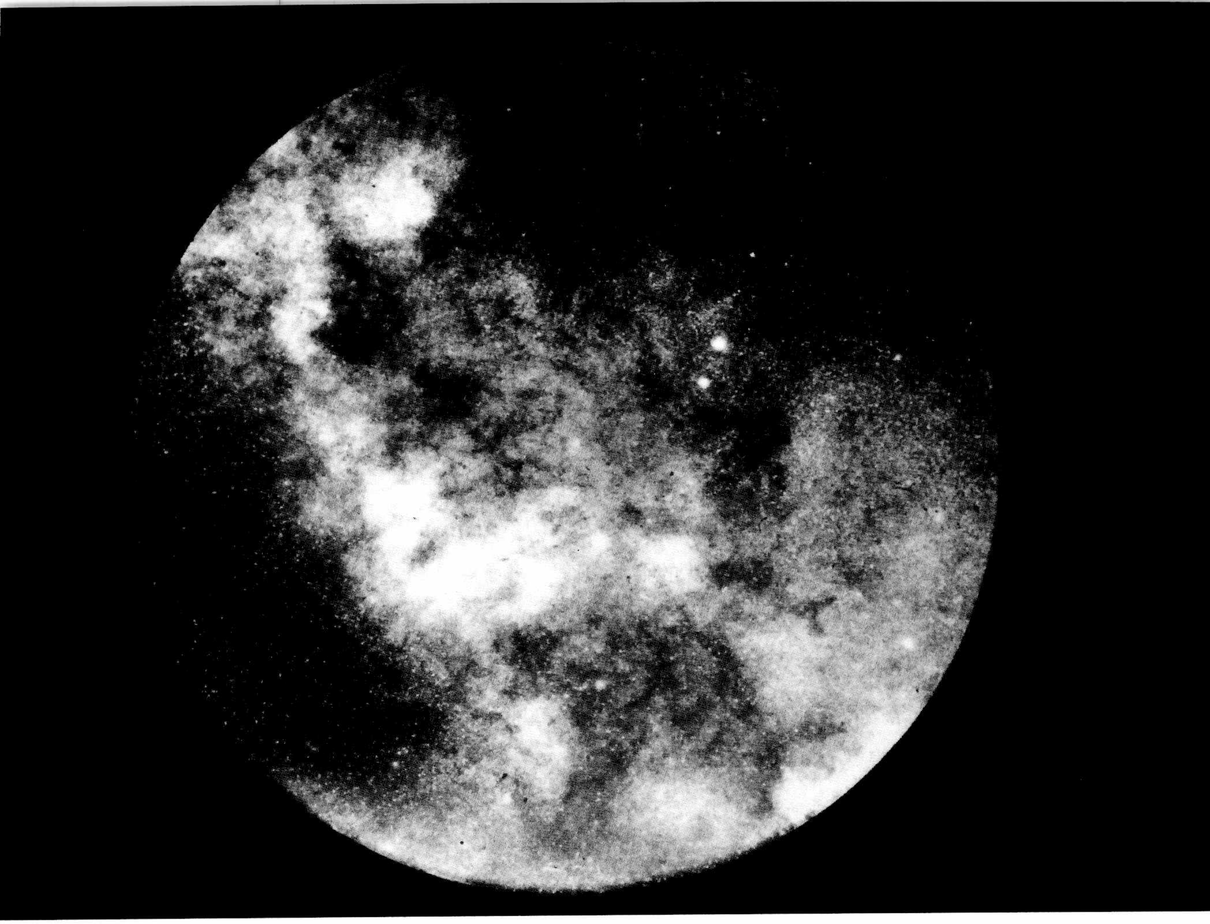



图 777　银河系旋涡臂的示意图

根据 21 厘米波长的射电波所绘出的。这个图形是奥尔特和范·德·胡斯特等所绘的。在各方向上描出氢(HI)区域的距离，这个距离是从银河自转所推出的。



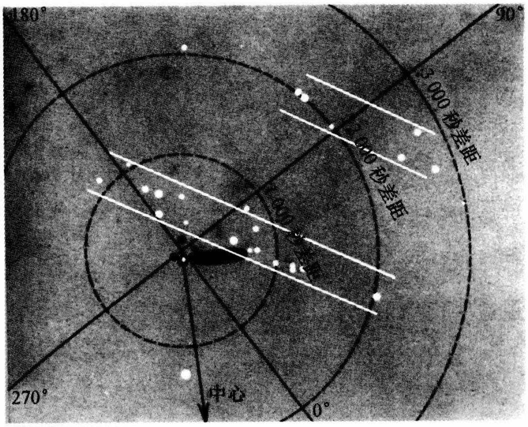



**图 778　热星星团的位置(根据摩根的研究)**

这些星旋Ⅰ的星是银河臂里的特征星。这张图内也有两臂,和前一张图里的情形类似。太阳放在两轴的交点上。

的方向和距离。我们更可以看出，这些星描绘出旋涡的两臂。

很久以来，人们就认为，太阳是在银河系的一个稠密区域里。近来的研究，特别是奥尔特和迪费(Dufay)的研究表明，并没有本区星团，毋宁说有本区孔穴。在太阳附近，恒星是相当稀少的。说明这个结论的一件事实便是，太阳不在旋涡臂里，而在臂的附近。旋涡臂自天鹅β星的方向开始，走向船尾座的方向去。

银河系中心的方向人们知道得很清楚，但是差不多完全被星际物质所掩蔽了。人马座内很丰富的恒星云比银河中心更要和我们接近些。

博克在南非和迪费在法国南方天文台所拍摄的红外光照片(图 776、图 779)都表明，如果我们以感红外光的照片代替通常的照片，照片上所拍得的星的数目将增加很多。这个效应的原因：一则是吸光云对于红外光比蓝色光更为透明；再则是核心的星因为属于星族Ⅱ，应当更红得多。苏联天文学家利用对长波特别灵敏的红外望远镜也得到同样的结果。现在正在进行一种详细的研究，以便决定红外星的云在空间的地位，拿骚(Nassau)曾在每一平方度内寻得几百颗 M 型的恒星。

另一方面，巴德曾经系统地寻找属于星族Ⅱ的星团变星。在银经 328°、银纬 −4°.3，靠近银河中心吸光较弱的一个区域里，巴德发现，每平方度内有变星 400 颗之多，其中 60%属于天琴 RR 型。他证明，这些确是属于星族Ⅱ的星，也许在 9 000 秒差距处，换句话说，即是在银河系中心的方向。这个方向上的吸光很强，这些星的光只有 10%才达到我们地球。

近些年来，关于银河系的研究有很大的进步，但是需待解决的问题还不少。我们认为，两个蜷缩很紧的旋涡臂，从含有星族Ⅱ的星很稠密的核心处伸出。这两个臂里混合有星族Ⅰ的星、气体和星际质点。在两臂之间，恒星很少，它们很可能属星族Ⅱ。在包括所有球状星团的大范围里(包括银晕在内)，很少有特殊恒星存在于球状星团之间。但是关于这些区域的知识还是很片段的，非常需要进一步的了解。

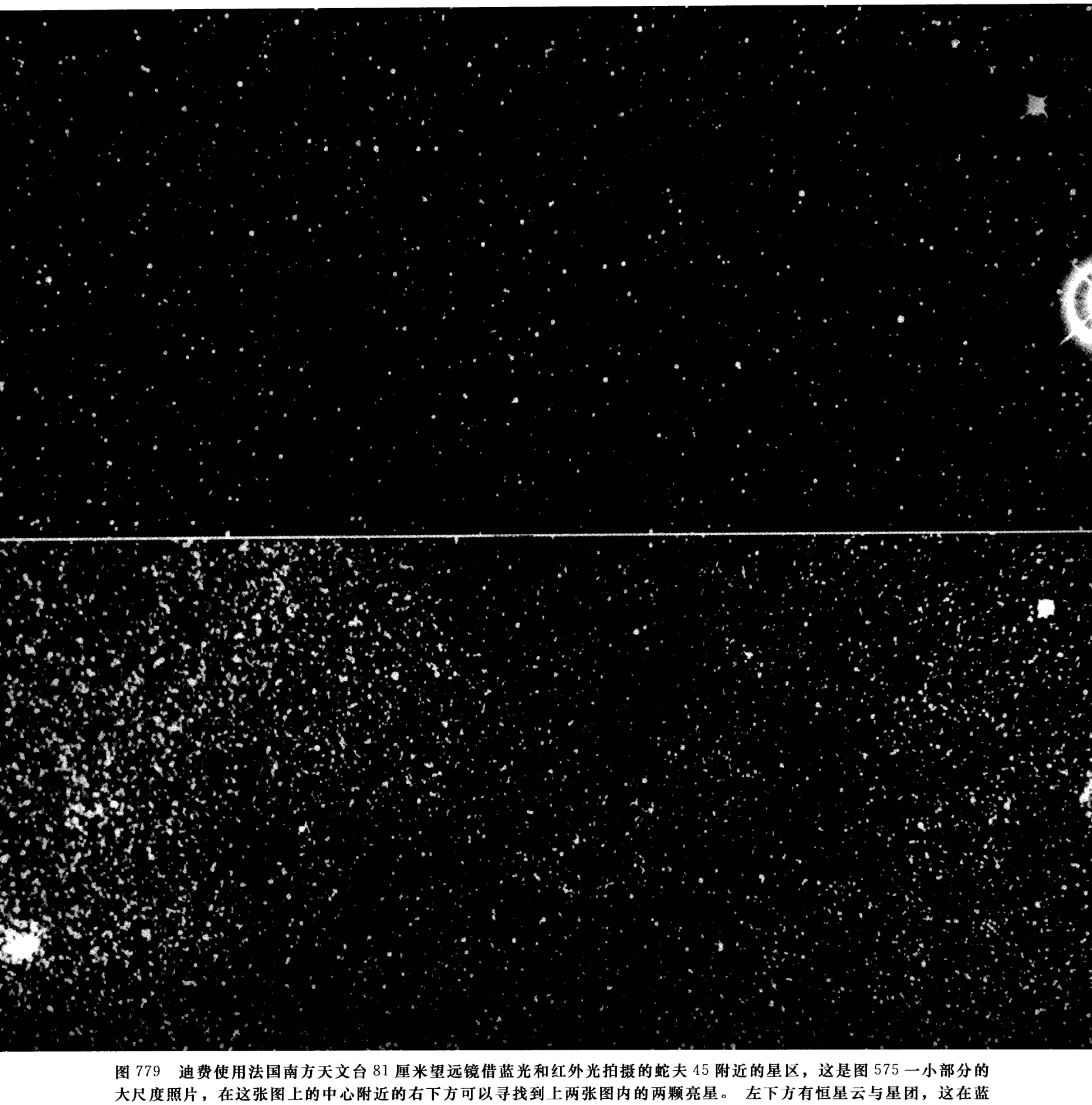


图 779　迪费使用法国南方天文台 81 厘米望远镜借蓝光和红外光拍摄的蛇夫 45 附近的星区，这是图 575 一小部分的大尺度照片，在这张图上的中心附近的右下方可以寻找到上两张图内的两颗亮星。 左下方有恒星云与星团，这在蓝光照片上简直看不出来



**图 780　仙女座星云 M31 即 NGC224 的全貌**

用法国南方天文台施密特望远镜拍摄。我们可以看出很明亮的核心和两个旋涡臂，在这大星云附近有两个小的椭圆星云，一个靠近旋涡臂在左上方，另外一个 NGC205 略微偏右，显然是与大星云分离的。

# 第五十七章

# 河外星云

很早我们便认识河外星云〔河外星云也可叫做河外星系。——校者注〕了。两个多世纪以来，人们便怀疑它们是恒星的集团。1750 年，赖特(Thomas Wright)提出了关于宇宙的一个理论，我们这个时代的天文学家还能接受这个理论。可是赖特以及康德的理论(1755)都没有科学的根据，直到有了赫歇尔的观测，这些理论才表现出一些价值。

但是自1880年至1916年间的科学观测在有些地方好像又使18世纪哲学家的伟大见解减色。有些星云是气体的，属于银河星系。1864年哈金斯(Huggins)、1900年基勒(Keeler)都能分析出它们的性质。对于另外一种星云，它们的恒星集团的性质并没有受到光谱学的否认，但是它们在天空的分布，好像表明它们是银河系里的天体。1916年万玛南(Van Maanen)测量这类星云的自行，求出的数值是每年0″.02，这使理论家惶惑难解。这样的运动是和距离恒星很远的天体不相吻合的。由这种运动所引出的速度将会达到100 000千米/秒。

现在，疑难是澄清了。我们知道，万玛南的测量有误差，星云在天空的特殊分布可以用银河系里的吸光物质来作解释。另外一方面，旋涡星云是恒星的集团，关于这一点已没有人怀疑。近代的大望远镜在那里找到了各种类型的明亮天体，正如在银河系里找到了各种天体一样。

## ◀星云星表▶

河外星云很多，我们该谈一下它们的命名法。最大的星云常用它们所在的星座命名。另外，我们习惯用它们在一种星表的号数命名。

1784年梅西耶在法国天文年历里发表了包含103个星云的表，其中大部分是河外星云。按梅西耶星表的号数，M31表示仙女座星云，M51表示猎犬座星云。

1888年德雷尔(Dreyer)在英国皇家天文学会的记录里发表了一个新的表，以它的缩写NGC(*New General Catalogue*，新总星表)命名，记载有13 226个星云和星团。1895年和1908年又增刊两个补篇，以IC(*Index Catalogue*，索引星表)命名。在这张星表内，仙女座星云的号数是NGC224，猎犬座星云是NGC5194。这些星表很有用，但自照相术发明以后，它们便不太够用了。

还必须提到沙普利和艾姆斯(Ames)于1932年在哈佛天文台年刊中所发表的优良星表，表中有1 249个星云，其中1 025个星云的亮度超过13星等，21个亮度超过10星等，我们把它转载在下面。还有记载星云团的星表，著名的如后发座星云团和室女座星云团等的星表。

**21个最亮的河外星云表**

| NGC | 1975 赤经 | 1975 赤纬 | 星等 | 范围 | 类型 | 附注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | 0时13.7分 | −39°22′ | 7.8 | 25′.0×3′.0 | S | |
| 224 | 0时41.4分 | 41°8′ | <5 | 160′×40′ | Sb | 仙女座星云M31 |
| 221 | 0时41.4分 | 40°44′ | 9.5 | 2′.6×2′.1 | E | M31星云的伴侣 |
| 253 | 0时46.3分 | −25°26′ | 7.0 | 22′.0×6′.0 | Sc | |
| | 0时 50分 | −73° | 1.5 | 216′×216′ | I | 小麦哲伦星云 |
| 598 | 1时32.5分 | 30°32′ | 7.8 | 60′×40′ | Sc | 三角座星云M33 |
| | 4时 26分 | −69° | 0.5 | 432′×432′ | I | 大麦哲伦星云 |
| 3031 | 9时53.4分 | 69°11′ | 8.9 | 16′×10′ | Sb | 大熊座星云M81 |
| 3034 | 9时53.8分 | 69°49′ | 9.4 | 7′.0×1′.5 | I | M82 |
| 3115 | 10时 4.0分 | −7°35′ | 9.8 | 4′.0×1′.0 | E | |
| 3627 | 11时18.9分 | 13°9′ | 9.9 | 8′.0×2′.5 | Sb | M66 |
| 4594 | 12时38.6分 | −11°29′ | 8.1 | 7′.0×1′.5 | Sa | |
| 4631 | 12时41.3分 | 4°6′ | 9.6 | 12′.0×1′.2 | Sc | |
| 4736 | 12时49.8分 | 41°15′ | 9.0 | 5′.0×3′.5 | Sb | M94 |
| 4826 | 12时55.5分 | 21°39′ | 8.0 | 8′.0×4′.0 | Sb | M64 |
| 4945 | 13时 3.5分 | −49°9′ | 9.2 | 11′.5×2′.0 | S | |
| 5128 | 13时23.8分 | −42°53′ | 7.2 | 10′.0×8′.0 | I | |
| 5194 | 13时28.9分 | 47°19′ | 10.1 | 12′.0×6′.0 | Sc | 猎犬座星云M51 |
| 5236 | 13时35.7分 | −29°45′ | 8.0 | 10′.0×8′.0 | Sc | M83 |
| 5457 | 14时 2.3分 | 54°28′ | 9.0 | 22′×22′ | Sc | M101 |
| 7793 | 23时56.6分 | −32°43′ | 9.7 | 6′.0×4′.0 | S | |

国际天文协会编制了一个新的河外星云表，但只限于明亮的，不可能将已知的暗的河外星云一概列入表去，因为用照相的方法发现了很多河外星云。大望远镜可能照到的河外星云的数目达几百万之多。这不但不能把它们列在表上，甚至把数目计算清楚也很困难。我们还要回过头来谈到这个问题，现在先研究一个最美丽的旋涡星云。

**仙女座星云M31即NGC224** 美丽的仙女座星云(图780)是可用肉眼看见的，它像是一团模糊的小块云，在仙女座$\nu$星附近，差不多在$\beta$、$\mu$和$\nu$三颗星连线的延长线上。用一个好的双筒镜可以看出，一个卵形的大轮子有2°长、0.5°宽那样大，这样就和四个月亮并排在一起的一般大，所以这是一个很大的天体。如果我们用巨型望远镜去看，它就像是一个乳点般的大斑痕，中间有一团恒星状的核心。当然，还是照片才能使我们把这个星云的真面目看得清楚。图780所复制的那张照片是用法国南方天文台的施密特型望远镜所拍到的。从照片上表现出有明亮的中心，伸出两个对称的旋涡臂。它的椭圆的形状使我们想象它是一个平面的圆形体，成为3/4的侧面透视。在旋涡臂附近有吸光物质，掩蔽了核心和旋涡臂的一些部分。我们还可在照片上看出两个小的星云，一个投影在主体上，另

一个在离开中心 1°的部位(图 780)上。大望远镜可以拍摄到用小望远镜所不能看见的细节。这个星云很大,我们的照片不能把它全部容纳进去,所以必须拍几张照片,拼起来才能窥见它的整个面貌。

图 781 是用法国南方天文台口径 1.20 米的望远镜所拍到的这个星云的核心部分。在这张照片上,核心以及两个旋涡臂的一部分都露光过度了。吸光物质在旋涡臂上描出很明显的细节。



**图 781 仙女星云的核心情况**

中心的核过度露光,细节不显著,但在旋涡臂上可以看出有吸光的云向内部伸入的线纹,而在外面的部分可以看出星团。

在照片的东北端,旋涡臂分解为大的颗粒,清晰程度不尽相同。这些颗粒代表恒星云,清晰的细粒是星团,甚至是孤立的星。用许多照片作精细的研究,使我们在这个星云里发现有下列的各种天体:40 多颗仙王 δ 型的变星(即造父变星),1 颗超新星——S And. 1885,100 多颗新星(参看图 703),249 个球状星团。

在这个星云里也发现有超巨星、发射星云和吸光物质。

所以,凡是银河星系里相当大而亮的天体,都可以在仙女座星云里找到。这一切详情都说明仙女星云和银河系具有同样的结构,这一点是不容怀疑的。

仙女座星云的距离只能用光度的间接方法去测量。我们说明一下这种方法所根据的原理。所谓"距离模数"是一颗星的视星等与绝对星等的差。如果星在 10 秒差距处,这模

数为零，而且距离每增加 10 倍，这模数便增加 5，于是我们有下列的表：

| 距离（秒差距） | 10 | 100 | 1 000 | 10 000 | 100 000 | 1 000 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 模数 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

所以只需找到一颗已知其绝对星等的代表星，再量出它的视星等并算出它的模数，便可求得这颗星和包含这颗星的星云的距离。

唯有很亮的星才能够提供这种测定，而且它们的亮度又可从它们的现象中求出。对于这种测量最有用的两类星是新星与造父变星。新星是银河系里很明亮的星，在最亮的时候，它们的星等差不多是相同的。

1917 年李切（Ritchey）在 NGC6946 星云内发现 1 颗新星，1917 年柯蒂斯（Curtis）在另外的旋涡星云里又发现了 5 颗。柯蒂斯想利用这个发现去求距离，因而证明他所研究的星云是河外星云。

李切的发现促使他本人对威尔逊山的大量照片做精细的研究，于是他在仙女座星云的 1909 年所拍摄的照片上发现了 2 颗新星。1917 年和 1918 年他用照相术留心寻找，又发现了 6 颗新星。今天我们所观测到的新星已经超过 100 颗。

哈勃于 1929 年发表了他对于仙女座星云的研究，并讨论了当时已知的 86 颗新星的观测。这些新星和银河系里的新星很类似，光亮变化是相似的，它们在星云核心附近的位置使我们联想到银河新星的分布情况。

很遗憾，这些新星很难用来对于星云的距离作精密的测定，其原因有：

(1) 正如我们对银河新星的研究中所说过的，新星彼此之间并非完全相同，在极亮时也不是一样明亮。哈勃证明，M31 里新星的视星等在 15 与 18 之间，常见的极大值是 16.5。

(2) 我们对新星的绝对星等了解得很不清楚，因为即使在银河系里，这些星还是太遥远，不能使用直接的方法去测量它们的距离。

哈勃很聪明地放弃了用新星去测量星云距离的方法。他宁肯用造父变星的方法。他在威尔逊山的照片上发现 50 多颗变星，其中 46 颗是造父变星。对于这些脉动星，勒维特曾经发现有名的周期亮度关系（见第四十九章）。这些变星周期在 10 日与 48 日之间，星等在 18.1 与 19.3 之间，而周期更短的星因为太暗不能观测。

关于周期亮度关系，因勒维特和沙普利的观测早已弄清楚。但很遗憾，把这条曲线放在星等的尺度上去是很不确定的。哈勃从新星和造父变星的测量求出的星云距离是彼此符合的。一般公认的模数是 21.8，因而距离是 23.1 万秒差距，但是这结果已经发现是不

正确的。天文学家在这个问题上所犯的错误是值得详细叙述的。我们在第四十九章内已经谈过这个问题，因为它的重要性，我们还要在这里再谈一下。

周期亮度曲线安放的地位是不稳固的，因为它的基础只建立在几颗短周变星上。巴德根据他的研究说明，这些星不是典型的造父变星，而是天琴 RR 型、属于星族Ⅱ的变星。这些星对于这两个星族有两个不同的周期亮度关系。因此，属于星族Ⅰ的真正造父变星的曲线应当向亮的一方移动 1.5 星等。距离模数应该增加 1.5，于是距离便应该加倍。因此，仙女座星云的距离是 45 万秒差距。

求仙女座星云的距离，哈勃没有用新星，但是别的天文学家用了新星，他们所求得的结果也和 23 万秒差距相近。但是当我们仔细研究他们的计算过程时，我们才明白，他们测定的结果是受了哈勃结果的影响。距离确定的银河新星的绝对星等平均值是－8.5。如果我们采用所有的新星（包括几个可怀疑的结果）的总平均值－7.0，那么由这个数值所得的结果就和哈勃的结果很接近。虽然仙女座星云的距离还没有得到精密的测定，但我们可以预言，应该把从前所测定的河外星云的距离加倍。宇宙的这种新尺度消除了以前的几个困难：(1) 仙女座星云里球状星团显得比正常状态暗四倍；(2) 这个星云本身比银河星系小得多，这两个问题都不成立了。现在一切都合适了，这两个星系实在是可以相比拟的。

仙女座星云是一个很亮的天体，可以用作分光的研究。虽然拍摄其中个别恒星的光谱是很困难的，但是我们却可以借分光的方法说明有发射星云的存在，并求得它到中心的距离与自转速度变化的关系。图 782 表示这些测量的结果。在如同我们太阳那样远的距离处，直线速度和银河系自转的数值很相似：对于仙女座星云，它是 300 千米/秒；对于银河系，它是 280 千米/秒。自转周期也和我们银河系的情形相同，大约是两亿年的数量级。

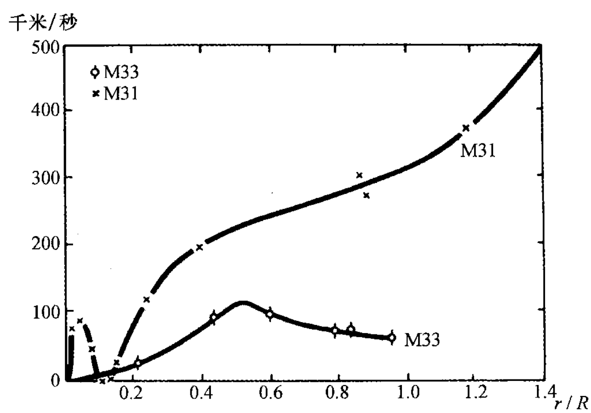


图 782　仙女座星云和三角两星云（M31 和 M33）内各处的视向速度随至中心距离的变化而变化。 M31 在挨近原点处的小起伏还不能确定，这一段的速度和银河系里的速度相似

仙女座星云的线直径可由它的视直径和距离推算出，新近求得的数字是 5 万秒差距

即 16 万光年。

它的质量可由星云的自转程度和直径推算出。根据开普勒第三定律，我们算出的质量是 2 000 亿个太阳的质量。

自从距离加倍以后，这一切数据都经过了修改，于是我们知道，仙女座星云和我们的银河系是相同的宇宙。因在远离星云中心处发现了一些星云物质，更增加了这相似之点。这其中的四团物质一定是球状星团，因为由视向速度证明，它们是属于仙女座星云的星系里的。可见，在这个星云的周围也有着如同银河系里包含一切球状星团的大球。这个球状星团系的大小也可以和我们的球状星团系相比。1944 年，巴德将仙女座星云核心分解成星，同样也分解了这个星云的两个伴星云 M32（图 783）和 NGC205。这种将核分解为星的观测是很困难的，因为星很紧密，而且不太明亮。最亮的星是红色的，巴德便是利用这一性质进行分解的。因为大气的扰动对于红光的影响要小一些，所以底片对于红光的分辨力要好一些。最亮的星的照相星等是 21.3，目视星等是 20.0，所以这些星很红。巴德指出，这些星是球状星团里的红超巨星，但球状星团完全是由星族Ⅱ的星所组成的。仙女座星云和伴着它的两个很紧密的星云都是由星族Ⅱ的星所组成的，而旋涡臂上的星则属于星族Ⅰ，这是一个很重要的结果。再顺便提及一下另外一个有趣的现象，即 O 型和 B 型恒星、弥漫星云、星际物质只存在于星族Ⅰ之中。



**图 783 仙女星云的伴星云 M32**
这个椭圆星云已经分解为恒星，注意对于亮星所形成的晕，底片上颗粒的表现不很相同。底片上有许多远方的河外星云。在图 780 内 M31 的右下方，我们可以看出这个小的河外星云（巴德用 5 米口径大望远镜以红色光拍摄）。

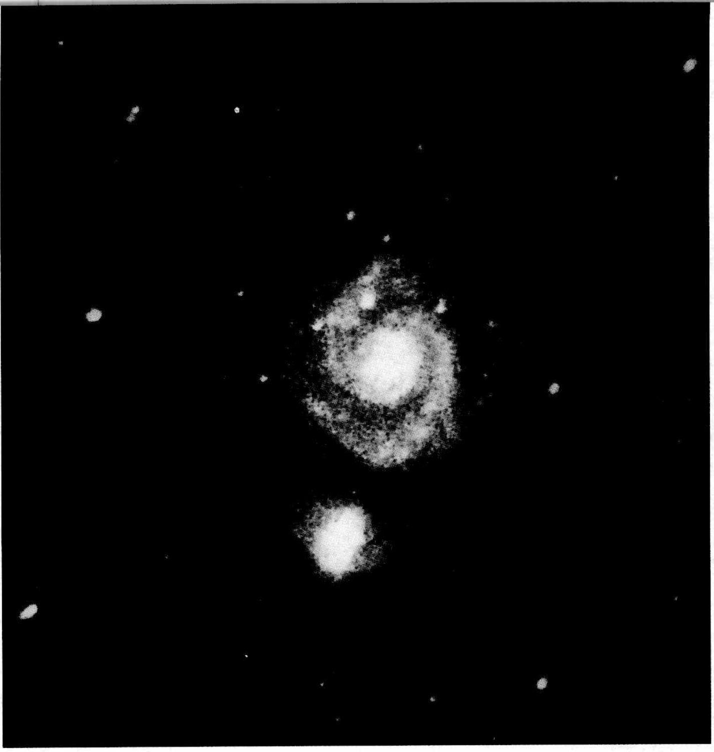


图 784、图 785　这是库尔太斯(Courtes)用两个波长很接近的红色辐射所摄的 M51，下图用的是 $H_\alpha$ 谱线。 在下图上有许多凝聚的核，它们是和星团联系的氢气云，但在上图里就没有这些凝聚的核

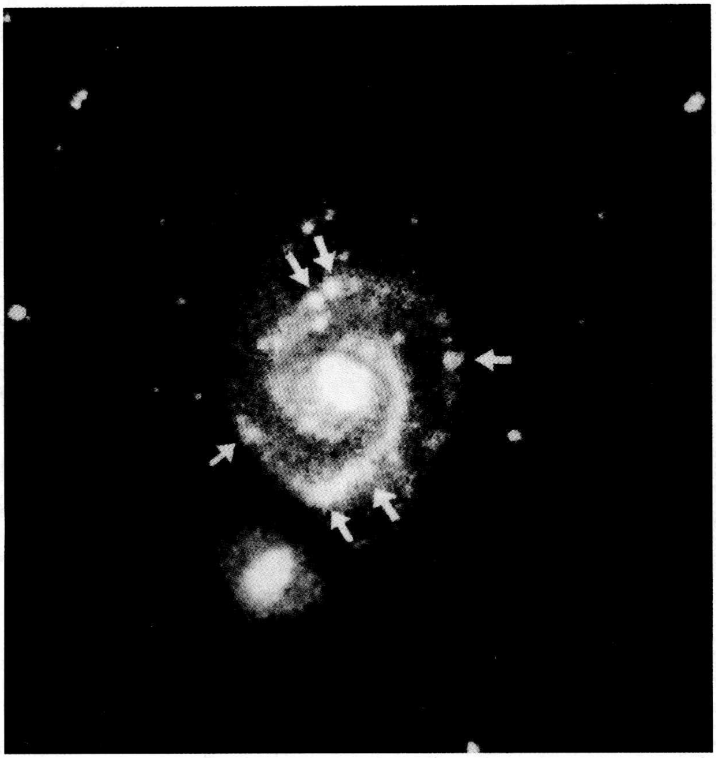




图786 猎犬座大星云M51

图上有两个主要的旋涡臂，一臂的末端有一大片附属物。臂上的稠密点是埋没在星际物质里的热星星团。

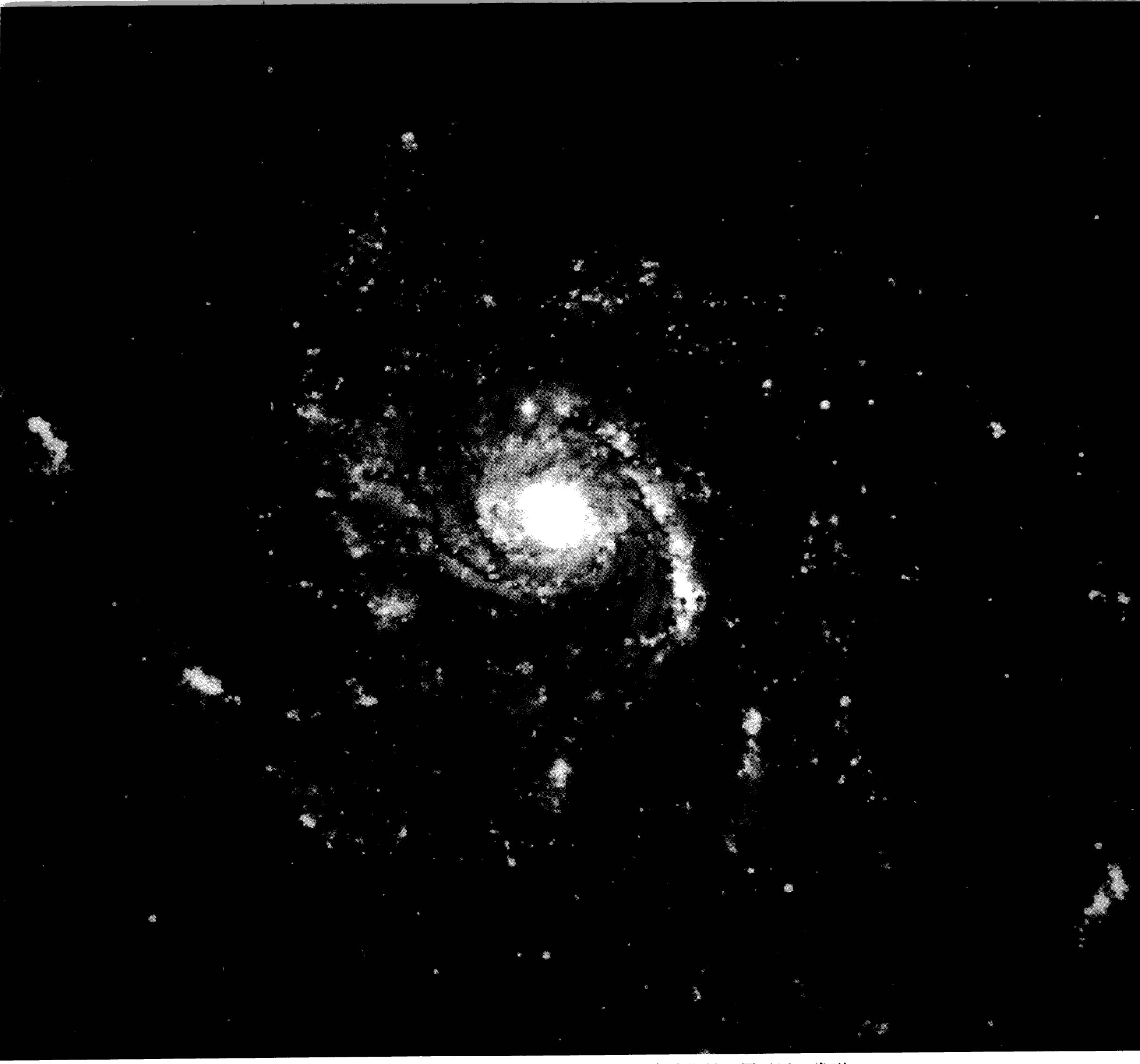


图 787 大熊座旋涡星云 NGC5457 和三角座旋涡星云属于同一类型

现在我们可以把这样的描述推广到别的星云去。例如，三角座星云也曾被哈勃细心的研究过，那里也有在仙女座里所发现过的一切天体。

**三角座星云 M33 即 NGC598** 这个星云在三角座内，它是容易被辨认的。用以辨认仙女座星云的仙女 $\nu$，$\mu$ 和 $\beta$ 三星的连线向南延长便到了三角座 $\alpha$ 星。这条线经过三角座星云，这个星云是可以用肉眼看见的。在照片上，它是一个大星云，直径 0.5°多。它有一颗很小的核和两个很不明晰的臂，甚至使人想到它还有另外的臂。将臂上的星进行分析是比较容易的事。哈勃详细研究过这个星云，发现 44 颗变星，其中 35 颗属造父型，只有 2 颗新星，还有发射星云环绕着的 O 型和 B 型的热星。从这些结果，哈勃推出，它的距离模数是 22.1，现在必须将我们银河系的吸光和定标的 1.5 星等的校正一并加以改

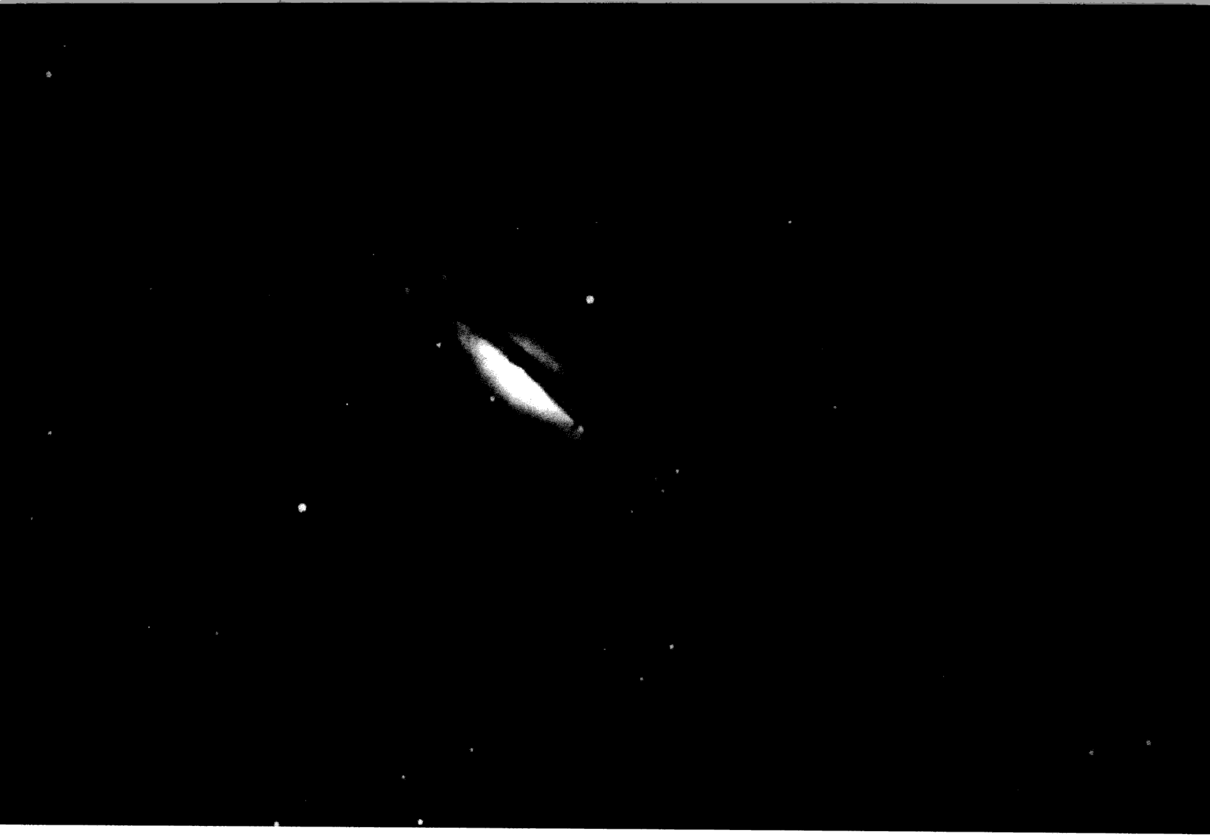


**图 788　后发座星云** NGC4565
中心核和一个吸光物质形成的带子，位置在星云的对称平面里。

正。于是我们求出的它的距离和仙女座星云的距离相同，都是 45 万秒差距。这个星云的直径达 9 000 秒差距，即是银河系或 M31 的直径的 1/3。它的亮度也小一些，约和我们将要谈的麦哲伦星云的亮度相等。仙女星云和三角星云在空间很接近，彼此间的距离只有 10 万秒差距即 33 万光年。

**猎犬座星云 M51 即 NGC5194**　这个美丽的星云(图 786)在猎犬座内，离大熊座七星的末端 $\eta$ 星约 3°。这个星云比仙女座星云要小些，但是我们却是正对面地看它，所以能显露出它构造上一切的美貌。

从核心伸出两臂，其中一臂末端有一团很大的凝聚物质，这是一个较远而非旋涡状的星系，另外一臂就没有这样的现象。用氢的红色谱线所拍摄的照片(图 784、785)明显地表现出它的有些凝聚处是类似于银河系里所发现的氢气云。后发座星云 NGC4565(图 788)是一个差不多从边缘处看上去的旋涡星云。这个特殊的位置就使我们看不出旋涡臂来，但是中心核的性质表现得很明显。在这张照片上，我们明显地看出，这些星云是由显然不同的核和臂两部分所构成的。核的构造是均匀的，臂却可以分为凝聚处、星团和吸光物质等几种形态。

以上所叙述的四个旋涡星云，形态虽有差别，但彼此却很相似。我们下面要谈到类型很不相同的河外星云。

看一看星云NGC1300（图789）。在臂和核的连接方式上，它和上面所叙述的旋涡星云大不相同：臂还没有成旋涡状绕着核心之前，便从向径上离开，继后形成近似于圆的形状。从星云的总体来看，便成了希腊字母Φ的形状，这是纺锤状星云，我们已发现了不少这样的星云。



图789　**波江座Φ字形纺锤状星云**NGC1300（**注意两臂和中心轴成**90°**的分离**）

还有很多河外星云完全没有旋涡臂，仙女座星云的两个伴侣就属于这一类型。这是由于它们的形状如此才把它们叫做椭圆星云。其中有圆形的，也有很椭长的。还有一些河外星云，形状既无规则，又不表现自转的结构。大小麦哲伦星云便属于这一类型。

大小麦哲伦星云是两个恒星的集团，在南天极附近范围达12°和8°。它们很容易分解成单颗的恒星，我们说过，在对造父变星的研究方面，它们起了很大的作用。这两个星云和银河系很接近，它们的距离只有5万秒差距，只有银河星系的直径那样长。我们可以把这两团恒星云当做银河星系的“卫星”。它们的直径分别是9000秒差距与7000秒差距。

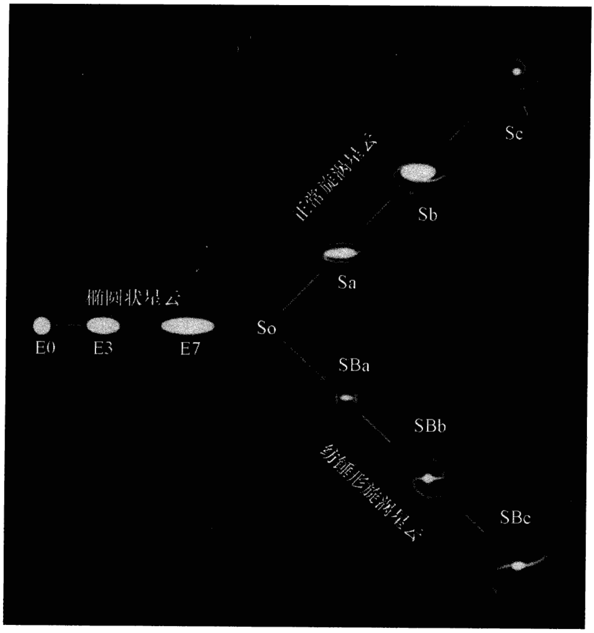



图 790 河外星云分类的示意图

河外星云有一种相当简单的分类法。图 790 表示这种分类法的原则。

我们将一般的旋涡星云按它们的核的大、中、小三种形态划分为 Sa、Sb、Sc 等三型。纺锤状的旋涡星云 SB，也像一般的旋涡星云那样分为 a、b、c 等三个分型。最后，椭圆星云 E，按它们的椭度从 0 到 7 有七个分型，E0 很圆，E7 很椭长。

对于很小的星云当然很难分辨它们的类型，各种类型的分布仅限于最明亮的 600 个星云。

下面是一些统计的数字：在河外星系中，椭圆星云占 17%，不规则的只占 3%，其余的 80%全是旋涡星云。纺锤状旋涡星云仅有一般旋涡星云的 1/3。三种分型的数目差不多相同，小核的稍微多些。

旋涡星云最大，平均光谱型和太阳的光谱型接近。椭圆星云最小，颜色更黄。近年来的研究得出一些很重要的结果，我们综合叙述如下：

旋涡星云的核和椭圆星云是由星族Ⅱ的星所组成的，这个星族的特征是有许多红色的超巨星和短周期的星团变星。平均地说来，这些星比组成旋涡臂的星族Ⅰ的星更红一些。

星族Ⅰ的特征是，存在着许多 O 型和 B 型的热星，以及由星际物质、气体和尘埃所构成的弥漫星云或暗星云。星族Ⅰ的发展愈是迅速，吸光物质的含量便增加得愈快。在椭圆星云里没有吸光物质，在大核的 Sa 型星云里很少，到了 Sb 和 Sc 型星云便增多了。吸光物质呈无规则的分布，甚至形成异常显著的一个平面层，如 NGC4594 那样(图 792)。在纺锤状星云里，星际物质就更为稀少了。

关于旋涡臂的形成问题，还没有得到满意的解释。对于银河系说来，旋涡自转的方向问题直至 1951 年才得到解决，说来倒也有些奇怪。用摄谱仪观测河外星系可以精密地测定它们的自转速度，但是不容易测定自转的方向，因为我们不能够预先知道旋涡在空间的

方向。它的一般形状，例如由视长轴的比例可以计算倾斜角的绝对值，但却不能说明哪一只臂究竟和我们更接近。在两种假设下，速度在视向上的投影的方向就有差异。反过来说，视向速度的测量可以决定方向，除非是我们先知道所讨论的臂谁近谁远。很难找出一个方法去判别旋涡臂在空间的位置。专家如斯里弗、哈勃、哈马逊、林德布拉德等对于同一星云也得出相反的结果。斯里弗认为，近的臂是表现吸光物质最显著的一只。林德布拉德却认为，远的一只臂更要暗些，因为光线在空间里透过更多的吸光物质。



**图 791　狮子座星系团**

这张照片上有两个纺锤状星云 NGC3185SBa 和 NGC3187SBc，一个旋涡星云 NGC3190Sb，一个椭圆星云 NGC3193E2 和许多暗星云(帕洛马山 5 米望远镜拍摄)。

**图 792　室女座星云 NGC4594(“西班牙草帽”)**

这个星云有一个核心和吸光物质带分布在对称平面上(注意在这个星云附近有弥散物质形成的“星系晕”)。



由此可见，在从事旋涡星云的动力学的研究和了解物质怎样从核心逃逸这些问题以前，以上所说的旋涡臂位置的问题应该首先得到解决。

哈马逊说明，所有的旋涡星云都是按同一方式旋转，而且就是在旋涡臂蜷缩在核心的方向上旋转。我们说过，奥尔特的射电观测给银河系解决了这个问题。旋涡臂是旋进而不是旋出的。有人解释，核心物质有这种运动是由于一种波动而引起的。我们可以证明，这样的旋进或旋出需要有非常扁平的核心，否则就会发生不稳定的情况。但是这个理论还有许多缺点。

**小型河外星云的距离**　将星云分解为个别的恒星，因而辨识其中标示距离的成员，如新星、亮星与造父变星，但这只能对于近的河外星云来说才可以办到。超过 60 万秒差距或者 200 万光年的星云，要直接测量它们的距离就很困难。

让我们在下面举出两个间接的方法。各种旋涡星云的形状虽有区别，它们的自身亮度却很接近。大星云如仙女座星云，比较小的星云如麦哲伦星云，总亮度之差还没有 10 倍之多。这两种亮度之比在绝对星等上相差不过 3 星等。

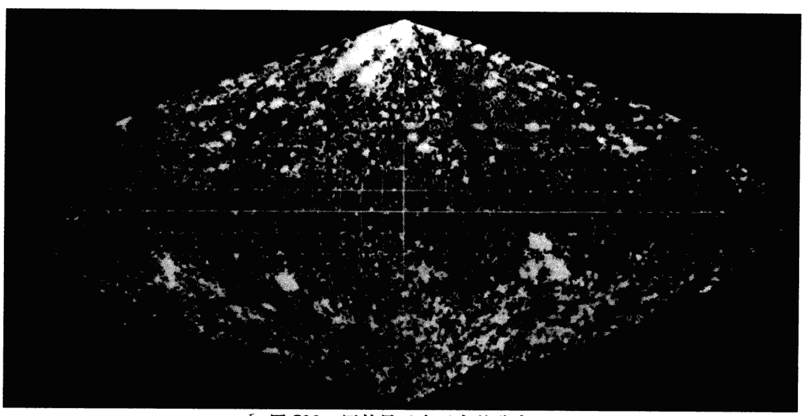


**图 793　河外星云在天空的分布**

银河是图内的中线，注意在这一区域里没有河外星云。

所以我们作下面两种假设是合理的：(1) 愈远的星云，光亮愈暗；(2) 将视星等与平均绝对星等之差作为距离模数。现在我们假定，这平均绝对星等 M 为－15.7。

于是要知道河外星云的距离，只需测量它的视星等。可是要测量这种视星等却不太容易，因为需将一个范围广大天体的星等和点状的恒星的星等加以比较。

这个问题现在因光电管的协助已经得到圆满的解决，因为光电管所测量的是光通量，它是不管光源的大小有怎样的差别的。在这个简捷的方法发明以前，天文学家利用法布里的方法，借星云的光亮去拍摄望远镜上的反射镜，也曾提供了一些数据。

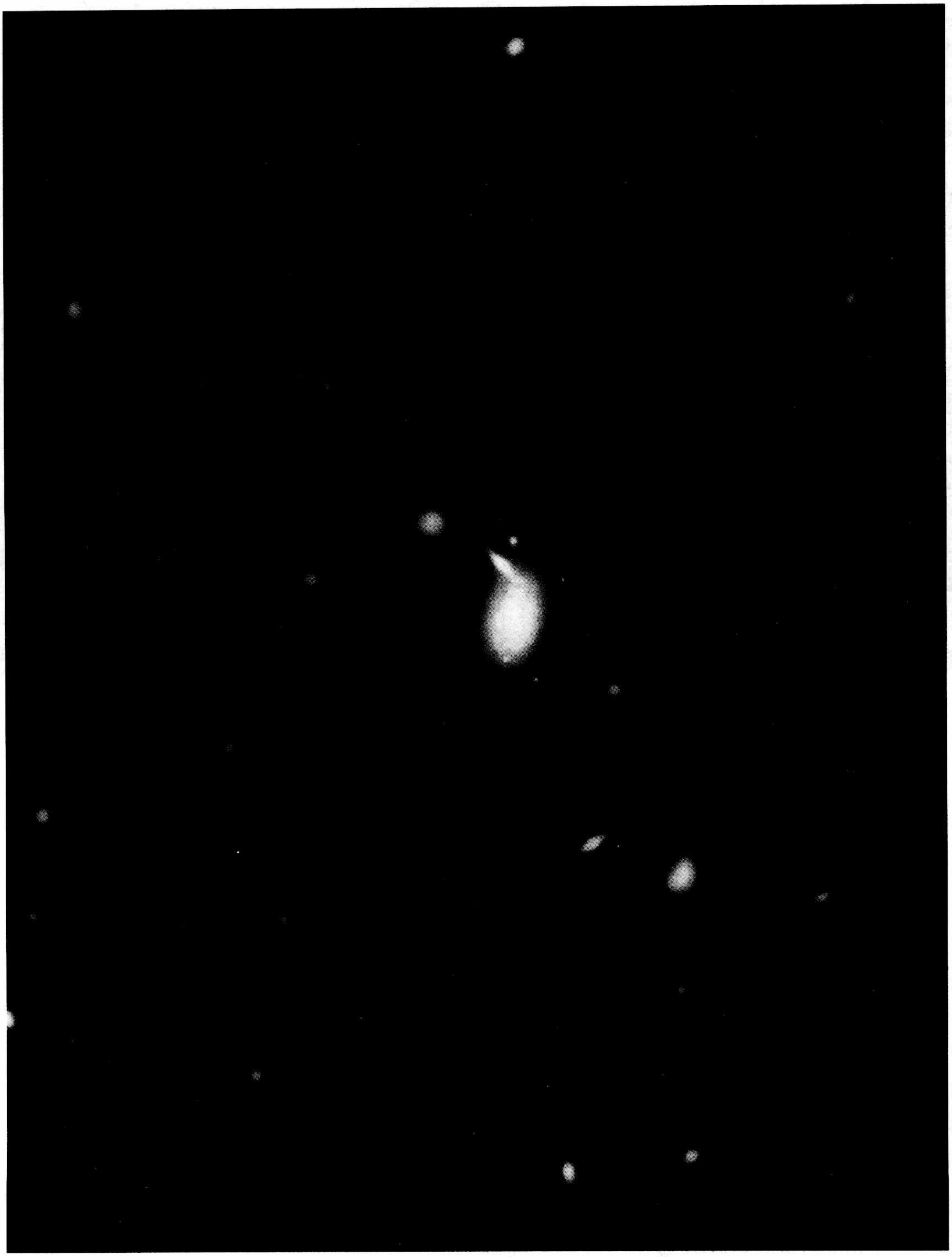


**图 794　后发座里河外星云团**

距离是 2600 万秒差距或者 8000 万光年(新尺度),这个集团的范围超过照片的界限(北方在左面)。

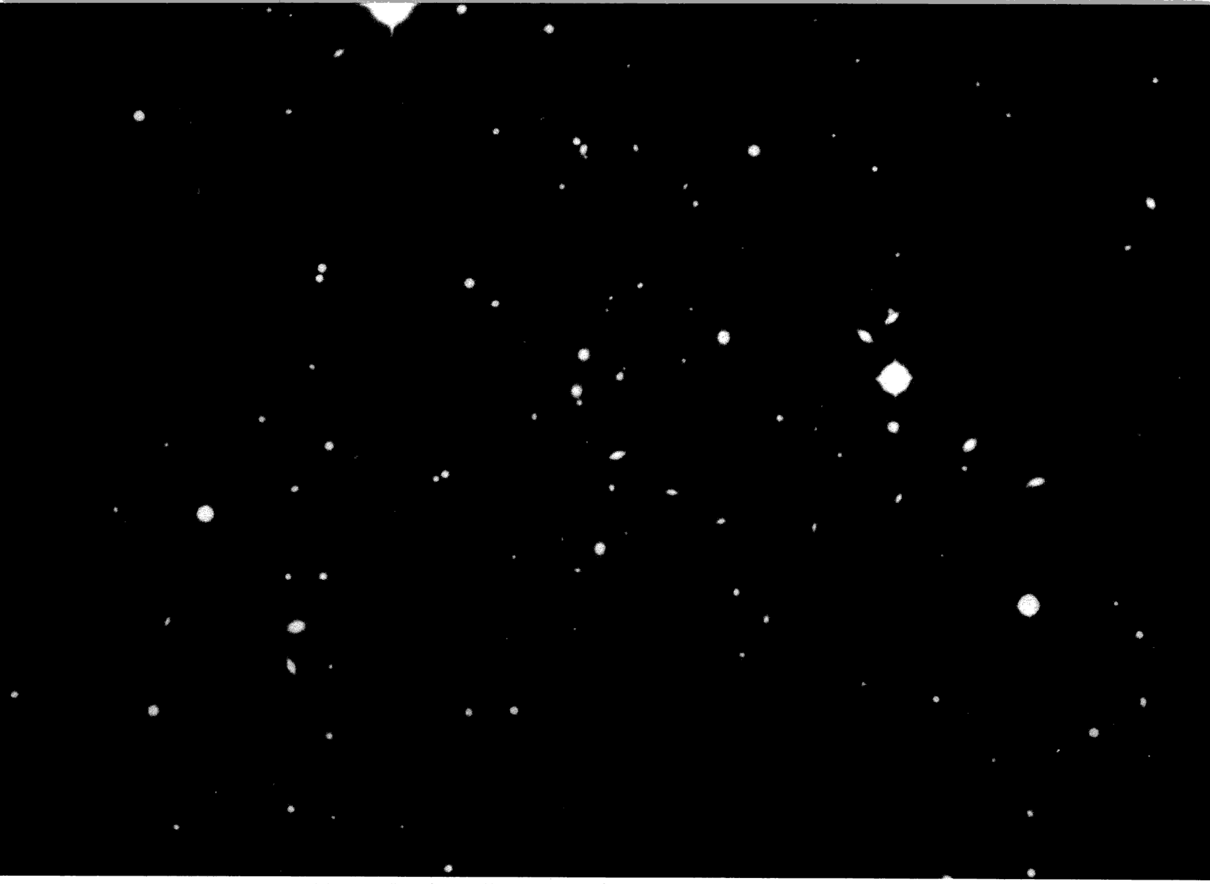


图 795　北冕座里河外星云团，距离是 2.4 亿光年(5 米望远镜拍摄)

对于很暗的星云(威尔逊山大望远镜的极限星等是 21，帕洛马山大望远镜的极限星等是 22.5)，星等的尺度还没有得到确定。光电的方法欠灵敏，唯有用照相估计的办法。帕洛马山拍摄到的最远的河外星云(图 796)，模数是 38.3，距离相当于 4.6 亿秒差距即 15 亿光年。

**河外星云的数目与分布**　我们在这一章的开始就说过，河外星云在天空的奇特的分布，曾有一个时期使人错认为它们是属于银河系的。

这是因为河外星云的分布具有银河系的对称性(图 793)。它的分布在银极上很多，在银道面上却完全没有。这样的分布和 O 型的亮星的分布恰恰相反。初看去，我们也许会认为旋涡星云是很近的天体。当然，事实绝不是这样的，从我们看别的星系所得的形象便可得到解释。至于银道面上之所以没有旋涡星云，只是因为那里有很多吸光的星际物质将星云遮掩了的缘故。

设想我们暂时移居在像图 788 那样的星云 NGC4565 上去，我们就不会看见这个星云的内部，因为它完全被黑暗的密层所遮蔽了。当然，在这些吸光物质里，我们也看不见我们的银河星系。

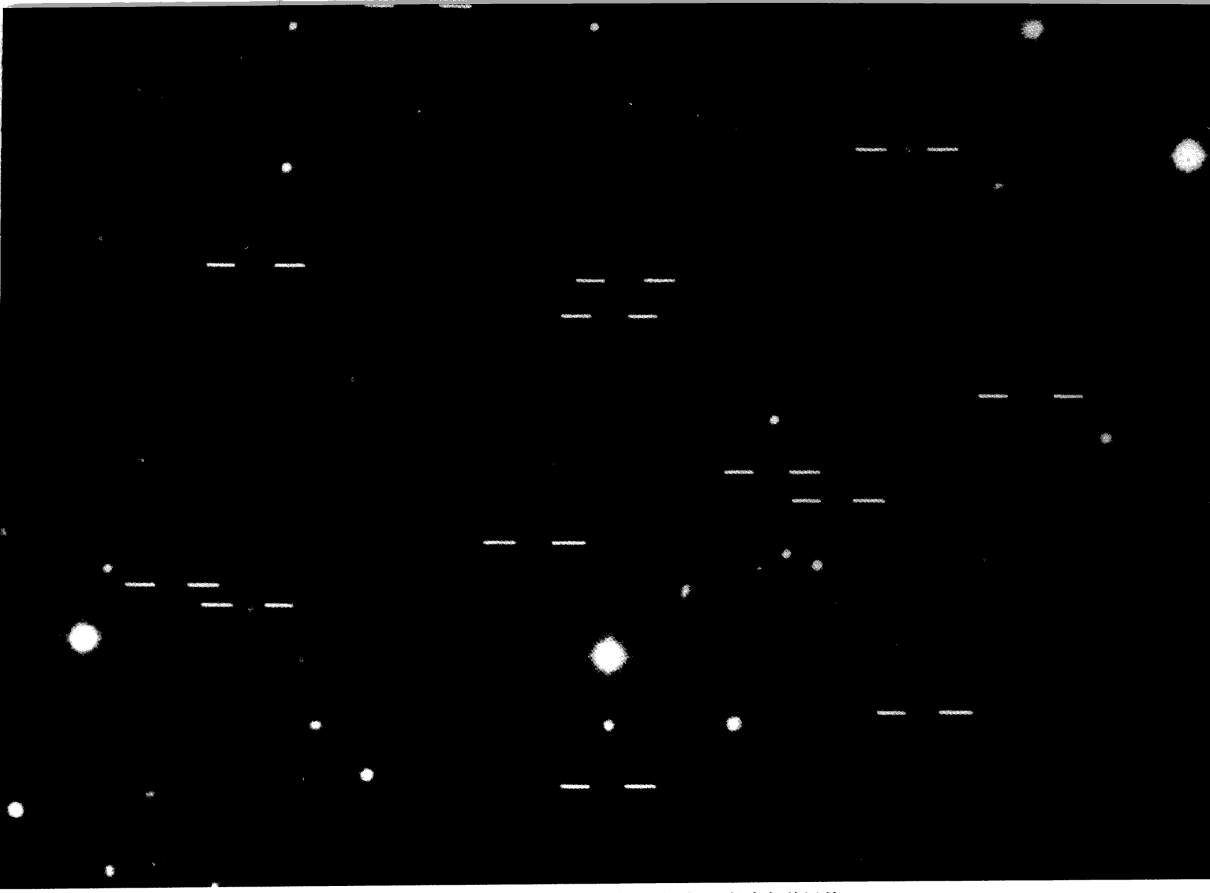


图 796　**最暗的河外星云，在 10 亿或 20 亿光年的远处**

我们可以利用河外星云的数目去决定银河系吸光层的厚度。当星光垂直地沿它最薄的方向上通过的时候，它会吸收半个星等的。

能够观测到的河外星云究竟有多少？就像恒星的情形一样，愈数到暗的星云，数目增加得愈快，以至使我们难于想象。

在没有被银河系星际吸光物质所遮蔽的区域里，哈勃估计，每平方度内按极限星等所得的河外星云的数目如下：

| 星等为 | 数目 | 星等为 | 数目 |
|---|---|---|---|
| 18.5 | 78 | 20.0 | 485 |
| 19.0 | 145 | 21.0 | 1 450 |
| 19.4 | 220 | | |

最后这一个数字的意思是说，在天空中像月亮那样大的面积里，就有 300 个河外星云。在这样的密度下，全天的河外星云当有 6 000 万之多。帕洛马山的大望远镜能拍摄到的，比这数目还多 10 倍。

我们说过，恒星的数目随视星等而增加，而且从那里可以推出，我们的银河系不是无限的。同样的推理也可应用于河外星云。如果整个宇宙是无限的，那么极限星等增加一

个单位的时候，河外星云的数目差不多就要增加 4 倍。实际上，这倍数不是 3.98，而是更小一些的 3.28。这个数字还不十分确定，因为星等的尺度还没有建立好，星云的数目也没有确定，但是观测的结果似乎表明，我们是在一个星系团里，成了大星系中的一个小星系。当然还有别的解说。例如，星系间的吸光也可以解释这个效应，关于这一点，以后我们还要谈到。

星云在空间里的分布究竟是怎样的呢？在天空有些区域里，河外星云是成团出现的（图 794、图 795）。最有名的星云团当是室女座和后发座里的两个星云团。就室女座星云团而言，在 10°×14°的区域里，亮于 18 等的星云有 2 500 个之多。据沙普利和艾姆斯的研究，这里面有 6 个星云团，最近的一个星云团距离 500 万秒差距，直径 100 万秒差距。最远的距离是 7 000 万秒差距。

后发座星云团（图 794）直径 6°，距离 2 500 万秒差距。我们所知道的最远的一个星云团是在牧夫座内，其中最亮的星云的星等是 18。这个星云团的距离是 1.4 亿秒差距。

现在经天文学家很好地研究过的 15 个星云团是汇聚在空间同一区域里的集团，因为同一集团内星云的星等和平均星等相差不多。例如，在后发星云团内，所有星云的星等在 14 与 18 之间；在室女座星云团 A 内，这种离中差便更小。这说明，同一集团里的星云是很相似的，而且星云团是在空间有限范围内的，这些星云绝不是因透视的缘故凑合在一起的。

星云联合成团是常见的现象，我们不禁要问，所有的星云是不是都集合成孤立的团。我们在银河系邻近的探测发现有十几个星云，彼此间的距离不到 45 万秒差距。我们的本星云团里有银河系和它的两个卫星系，以及大小麦哲伦星云、玉夫座椭圆星云、仙女座星云和猎犬座星云。这个集团好像是真实的，因为在 50 万秒差距之外呈现出一个空缺。本星云团的范围和别的星云团的范围是差不多的。有些天文学家甚至想研究我们的本星云团的结构，还有的天文学家想从这个集团里找出一个超星云的旋涡臂，不过这是还不能确定的猜想罢了。

关于星云的相对运动的研究是很重要的，但只有星云的视向速度是可以观测的，因距离遥远的缘故，其他的线位移如形变或自行都太小而不能观测得到。而且很遗憾，视向速度的测量也很困难。在室女星云团里已经测得 30 多个视向速度，可是没有发现其中有任何简单的规律，没有发现膨胀或自转。这是可惜的，因为我们正盼望从这样的运动里去求得星云团的质量。对于室女座星云团来说，视向速度彼此相差很大，有些星云的视向速度和平均值相差至 1 500 千米/秒之巨。

除了河外星云团之外，我们还发现有成双的河外星云。迄至 14.5 星等，霍姆柏格(Holmberg)计算了 827 个多重星云，其中有 1 854 个成员。根据统计，其中 87%都有物理上的联系，只有 13%由于透视的缘故偶然凑在同一方向上的。这些双星云可用以测定星云的质量，所用的方法和应用于双星的方法相同。只有视向速度才能测量，因为运动周期之长当以几百万年或几十亿年计算。以前说过的两个星际射电源好像是和几个特殊星云有关，一个是双星云，另一个是一个星云投射到另一星云里去，如枪弹射击靶子一样。星云的碰撞在射电波的区域里造成了许多噪声。

自从银河系里星际物质的重要性被人认识以后，星云间有无物质存在的这个问题便被提出来加以研究。距离增加，星云的数目却不能按比例增多，这是不是可以解释为因为星云间有物质的存在呢？因为星云的光谱向红端位移足够解释这个效应，我们就不再提出这个假设了。迄至 1950 年，一直没有观测证明星云间有物质的存在，可是就在那年，兹威基利用帕洛马山的大望远镜拍到很清晰的照片，发现河外星云之间有发光物质，像绳索那样联系着它们(图 797)。这些观测很有意义，因为从这里表明了星云之间的确有物质存在。

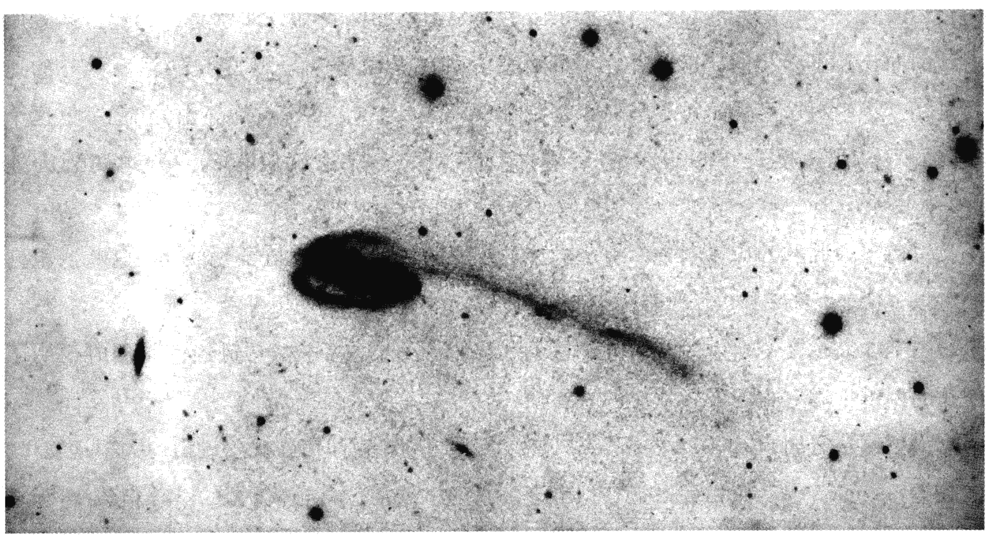


图 797　星云同它线条式的物质(负像)

在结束这一节以前，我们还需提到，根据现有的认识，每一个河外星云大约有 2 000 亿颗恒星，平均在每边一秒差距的立方体内有 1/10 个太阳的物质。我们根据对星云的统计，在每边 100 万秒差距的立方体内有 1/2 星系。如果我们把物质均匀地分布在这个体积内，每立方秒差距里便只有一千万分之一个太阳的质量了。

所以，银河星系比大宇宙的平均密度要大 100 万倍。假使宇宙里的物质作均匀地分布，那么原子间的平均距离大约是 100 米的数量级。

**宇宙的膨胀** 〔这一节中的观点和说法显然是和辩证唯物主义的宇宙无限论不相符合的，应该加以批判。推荐读者参看下列两本书：《宇宙是什么？》（特别是其中第十四章“宇宙的无限性”），上海科学技术出版社出版，古列夫著，1959 年，《天文学教程》（上册），545—547 页，上海科学技术出版社出版，南京大学天文学系编 1964 年。——校者注〕从 1912 年起，斯里弗就开始测定河外星云的视向速度，他测到了 50 多个。这些速度大多数都是正的，这表明这些星云是离开观测者正在逃逸。这些速度的数值之大，说明了河外星云位置的遥远。即使使用 60 厘米口径的望远镜，也只能用来测量明亮的河外星云。

当哈马逊使用威尔逊山 2.50 米口径的望远镜，并利用雷汤（Rayton）设计的很亮的摄谱仪的时候，观测河外星云就得到很大的进步。哈马逊证实，斯里弗观测到的膨胀实在是一个普遍的现象：视向速度总是正的，而且愈远的星云视向速度愈大。经过测量的最远的一个是大熊座星云团内的一个小的椭圆星云，它的视向速度的数值是 42 000 千米/秒，相当于光线的速度的 1/7。相对于邻近河外星云，我们的太阳沿着银经 59°、银纬 10°的方向，以 344 千米/秒的速度运行。这样求到的太阳运动的向点和以球状星团为定标系统所求到的向点差不多相同。速度上之所以有差异可以这样解释：太阳围绕银河系中心的速度是 280 千米/秒，而银河系本身对于邻近的旋涡星云的集团并不是静止的，它对于这个集团的重心的速度是 140 千米/秒。这两种速度的合成速度便是我们所观测到的速度——344 千米/秒。

银河星系固有的速度和别的邻近的河外星云的速度有着相同的数量级。这些测量已经可以说明，对于每 100 万秒差距膨胀速度就有 280 千米/秒的数量级。

图 798 表示几个典型的光谱与和它们相当的星云，这幅由哈马逊绘的图同时说明了问题的困难性和宇宙的膨胀效应的重要性。

大熊座星云团内有一个小星云，它的星等是 18，很暗，即使在威尔逊山的大望远镜里，肉眼也看不见。但是照相可以把它拍出来。它的谱线的位移很大，钙的紫外谱线 H 和 K 都移到 4 500 埃的蓝色区去了。下表内记载了哈马逊所观测到的一些视向速度。在视星等的旁边，我们还列出经过最近校正过的这些星云的距离。

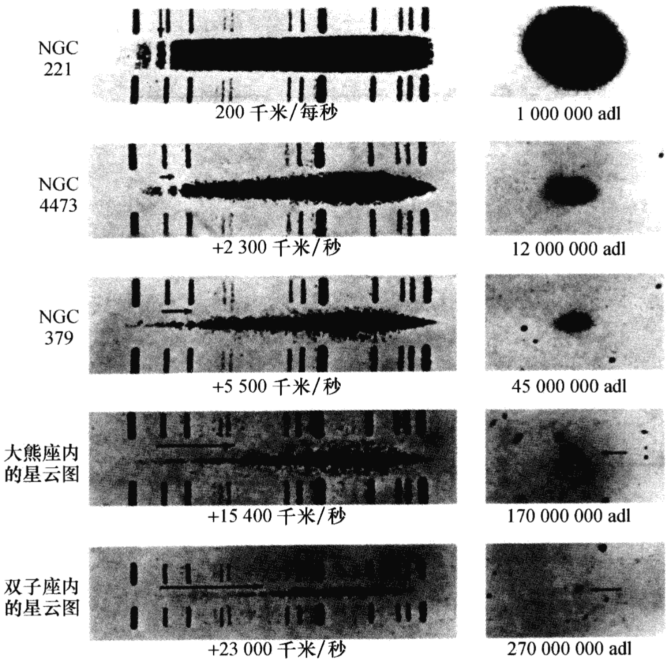



**图 798　几个河外星云的光谱。 哈马逊拍摄。 箭头表示多普勒位移。 对于最暗的星云，这种位移最大**

**几个河外星云的视向速度**

| 名称 | 类型 | 星等 | 距离(100 万秒差距) | 视向速度(千米/秒) |
|---|---|---|---|---|
| M31 | Sb | 5.0 | 0.460 | －220 |
| NGC6822 | Irr | 11.0 | 0.320 | －150 |
| M33 | Sc | 7.8 | 0.480 | －70 |
| M81 | S | 8.9 | 1.98 | －30 |
| 小麦哲伦星云 | Irr | 1.5 | 0.05 | ＋170 |
| 大麦哲伦星云 | Irr | 0.5 | 0.054 | ＋280 |
| M101 | Sc | 9.0 | 0.52 | ＋300 |
| NGC5985 | Sb | 12.2 | 7 | ＋2 600 |
| NGC3147 | Sc | 11.9 | 3.3 | ＋2 600 |
| NGC379 | Sa | — | 14 | ＋5 500 |
| NGC72 | SBb | — | 15 | ＋7 000 |
| 大熊 1 号 | E | 15.9 | 60 | ＋15 400 |
| 北冕 | E2 | 16.7 | 72 | ＋21 000 |
| 双子 | E | 16.8 | 66 | ＋23 000 |
| 牧夫 | E | 17.8 | 140 | ＋39 000 |
| 大熊 2 号 | E | 17.9 | 130 | ＋42 000 |

从这张表中我们立刻发现，愈远的星云视向速度愈大。图 799 表明，在测量的精确度范围内，膨胀的速度和距离成正比。

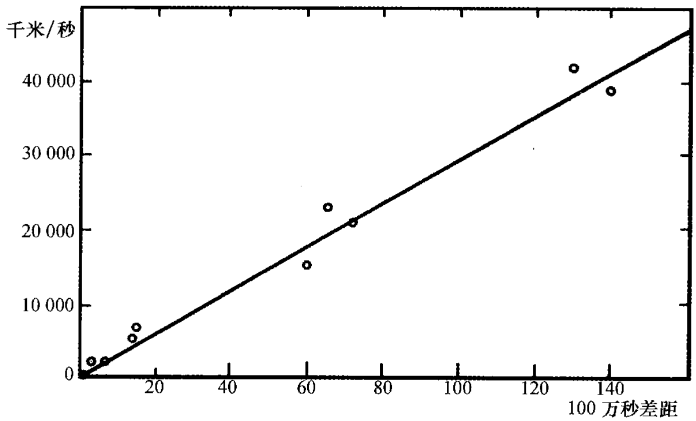



图 799 河外星云的逃逸速度与距离成正比

星系的逃逸是近代天文学，也许是整个天文学界最惊人的发现。乍一看来，我们可以把这种逃逸现象看做是以我们为中心，或者把我们的银河系当做是整个宇宙的中心的现象。但仔细一想才知道，事实并不是这样的。设想我们置身于一团散开的人群里，这群里的每一个人都在运动，看上去别的人都从他身旁离开，好像都在逃逸他，如果他因此推想他是这人群的中心，那便错了。

河外星云的膨胀比这个比喻更为复杂，愈远的星云逃散得愈快，这种情形好像是在某一时期里所有的物质都汇聚在一点。我们甚至可以计算这种膨胀开始的时代。当然，因最近对于宇宙的尺度的修改，使天文学家对于宇宙膨胀的常数也需加以调整。从前的数值是每 100 万秒差距的膨胀常数为 580 千米/秒，现在便该改为每 100 万秒差距的膨胀常数为 290 千米/秒，这是因为速度虽没有变，但宇宙的大小却增加了倍数。实际相隔 100 万秒差距的两点按 290 千米/秒的速度彼此离开，我们很容易算出，在 33 亿年以前，这两点间的距离为零〔这个数字经最近(1964)对于宇宙尺度修订时改为 100 亿年。——英译者注〕。

这一切结果都是异常惊人的，于是引起了各种怀疑。有许多专门的著作讨论这些问题，我们只能略述一二如下：

谱线向红端改位是一个很显著、不能否认的现象，同时也不能否认，当星云的视星等变大(即变暗)的时候，它们的视直径变短。膨胀和距离的关系是已经被证明了的，只是因星云的距离还不大确定，膨胀率的数值还须修改罢了。我们说过，星系的逃逸使 H 和 K 位移之大达 550 埃，所以我们所接收的辐射更接近于红端。可是光子所带的能量是和它

的频率成正比，即和它的波长成反比。在这些情况下，光子所带的能量就要小些，星云也就显得暗些，于是也被人估计得远些。不管谱线位移的原因怎样，这校正是必须的，而且星等随距离的增长而增大，对于最近所测到的远星云，这校正数达 0.6 星等。但是这里所说的效应是多普勒效应，这校正数便应该加倍，因为在这个情形下，我们所接收的不但是能量小的光子，而且接收到的光子的数目也要少些。因为每秒钟内所接收的光子排列在 300 000＋$v$ 千米的长度上，而不是排列在 300 000 千米的长度上。这个效应所需的改正数和前一个效应是相同的。

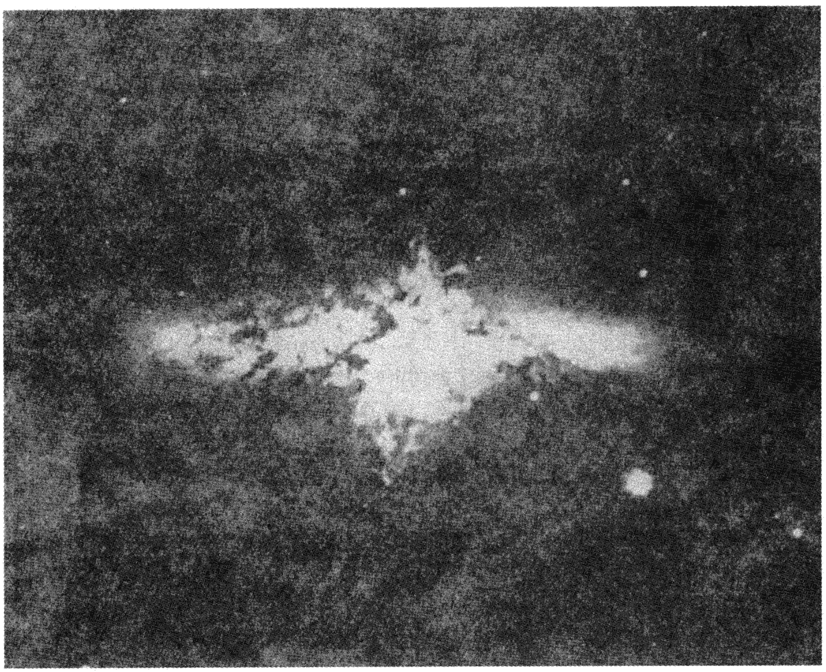


图 800　河外星云 M82(NGC3034，在大熊星座内)的巨大爆发

在 1963 年 9 月所拍摄的照片上发现，这个星云中心部分产生了巨大的爆发(星云中央向上下突出的部分)，物质喷射的速度达到每小时 3 000 多万千米。这是至今已知的宇宙中最大的爆发。根据计算，这个爆发产生在大约 150 万年以前，目前爆发仍在进行，喷射出的物质相当于 500 万个太阳。这个河外星云和我们的距离约 1 000 万光年。

现在总校正数虽然是相当之大，但离实际还嫌太小。当帕洛马山的大望远镜能够发现更远星云的视向速度时，也许情形会不同的。

帕洛马山所观测到的最远的星云的速度是 138 000 千米/秒，即约为光速的 46%。显然，速度比之快 2.2 倍的星云就观测不到了，一方面它的光子不能到达我们，另一方面光子也没有能量了。

现在要解释宇宙的膨胀还很困难，因为还缺乏物理学上的根据去验证天文学理论家

这一很大胆的假设。

宇宙膨胀的假设至今尚未确定，但即使我们观测到的河外星云有远离我们向四方分散的现象，这也只能说明由于某种尚未明了的原因，在我们所能观测到的星云中现在正在“膨胀”着，这也只能说是宇宙中的局部和暂时的现象，它并不能用来概括整个宇宙的运动和发展。这也不过是我们所知的宇宙有限部分所特有的现象罢了。

宇宙是无限的，它没有边界，没有始终。我们现今虽然只能认识了宇宙有限的部分，然而随着科学技术的进展，人类将会逐步地无限地认识宇宙。

# 第七篇 | 天文仪器



图801　法国南方天文台1.20米口径的望远镜

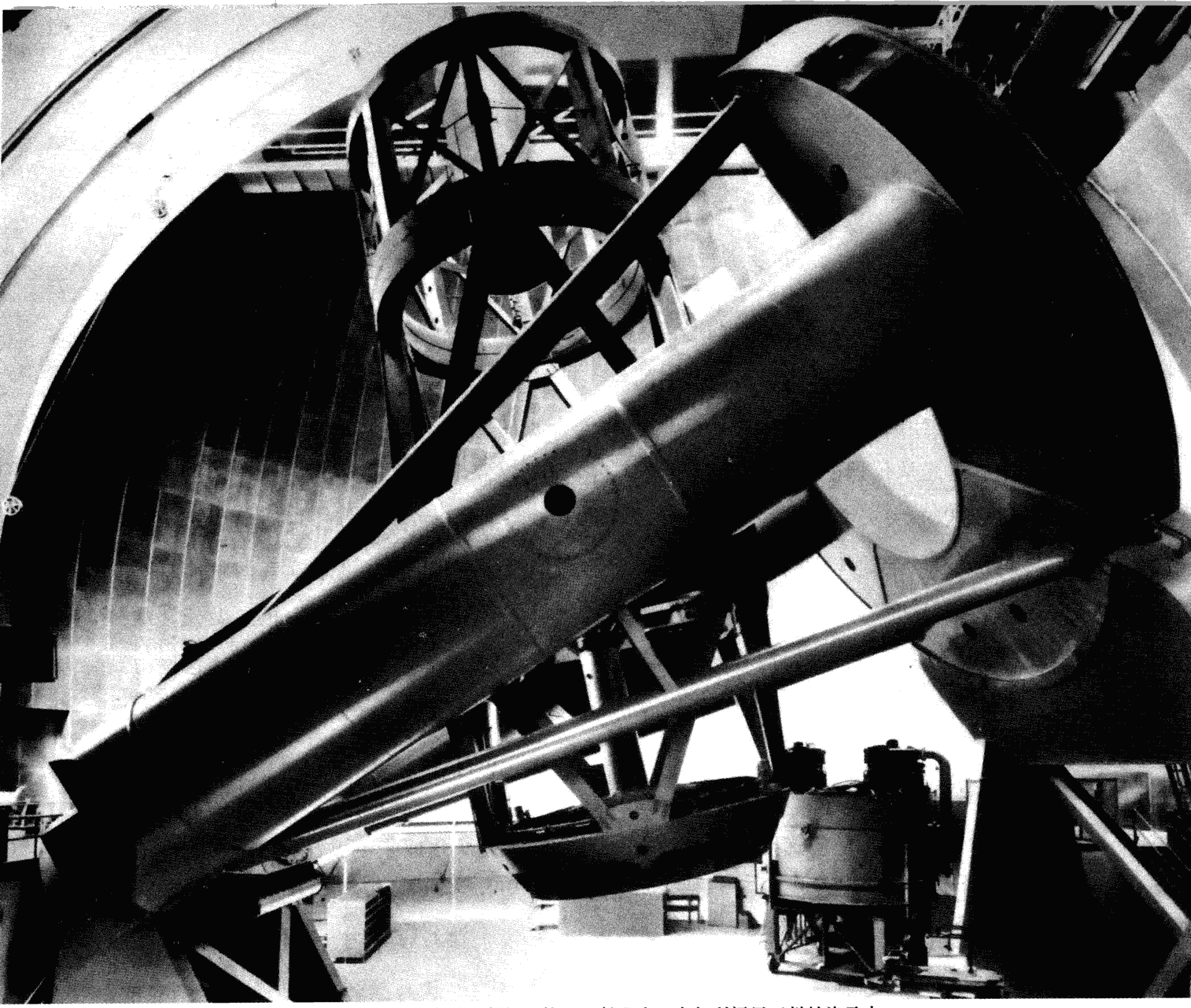


图 802　世界最大的反射望远镜，口径 5 米，在加利福尼亚州帕洛马山

# 第五十八章

# 天文仪器

望远镜的发明是在 17 世纪初。自古以来，人类便希望增进五官的感觉能力，但只有在实验科学跃进的时期，这个古老的希望才变成了事实。这种新的仪器指向天空，立刻提供了一些人类文化史上未曾有过的知识。我们一下子就用眼睛证明了从前理解中认为应

有的事实(如金星的位相、木星的卫星、月面的起伏、银河是恒星的结构等),这样鲜明的验证更增加了用理解推求的信心。望远镜更显示出一些没有料到的现象(如太阳的黑子、土星的光环、仙女座和猎户座的星云等),这样更激发人们去做实际观测的研究。

用望远镜观测所得的结果展现在我们的眼前。古人所知道的宇宙只限于肉眼所能看见的约 6 000 颗星,而读者们在这本书的每一页里可以看见,我们今天所认识的宇宙是怎样的丰富、怎样的广阔。科学的历史雄辩地告诉我们,这三个半世纪以来,重要的发现是怎样地依靠光学仪器的进步。我们已经了解,天文仪器的研究和天文学本身的研究是分不开的,所以有关天文仪器的叙述在这本书里是有它的地位的。当然,我们只能叙述重要的方面,至于复杂的技术问题一概略去不谈。我们先谈原理,我们设想读者们眼前有一架天文望远镜。如果你有一架望远镜,纵然很简陋,你若不用它去做观测而想去做天文的研究,这是难于想象的。我们抱着实际的目的作一般的叙述,初学观测的人可以从这里得到一点帮助。然后我们才进一步谈到现今天文台所用的大型望远镜与构造上的一些困难问题。

折射望远镜主要部分是将大小相差很大的两个透镜安装在同一个轴上。这两个透镜中的一个叫做物镜,是望远镜上的主要部分。它的口径从几厘米到几十厘米,它的焦距一般是在口径的 10～20 倍之间。物镜 $O$(图 803-Ⅰ)的作用是使在靠近光轴方向的那些很远的物体成像。我们可以把一片毛玻璃放在焦面上,去接收这个像。如果我们站在这片毛玻璃的后面,就可以在这片玻璃的表面上看出物体的形状与颜色,这个像总是倒立的。要研究这个像的细节,我们须得使用一个很短焦距的透镜,作为放大镜,这叫做目镜 $o$。改动目镜的位置,使眼睛看见毛玻璃上的象,如像很远的物体一样,那时物镜的焦面 P 也含目镜的焦点 $o$。我们所以用毛玻璃来辅助我们,是因为这是

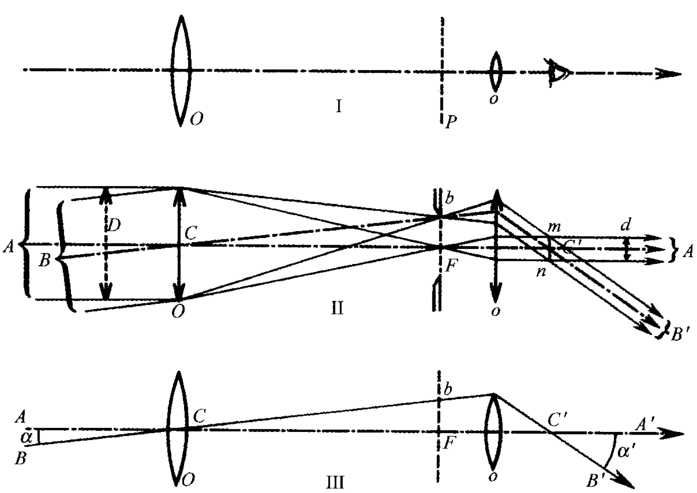


图 803　折射望远镜的原理

根据读者们已有的经验，但是这张毛玻璃是不需要的。把它拿掉，并不改变刚才定的两个透镜的相对位置，而且像更明亮、更清晰，只要眼睛放在适当的位置，像所占的可以观测的范围（视野）是相同的。

图 803-Ⅱ表示光线经过整个光具组的路径。假设一束光 $A$ 是从很远的星光而来的，刚好在物镜的光轴上，而 $B$ 是从另外一颗星而来的光束。物镜将这些平行的光束变为汇聚的光束，这些光束作成了两个圆锥，公用底是物镜的周界，顶点是 $F$ 与 $b$。从目镜出来的光束 $A'$和 $B'$又是各自平行的光线，如像进入物镜时的情形一样，但是却有一个差别：这些光束出来时，它们彼此间的角度就大得多，而且每束光的横截面就小得多。折射望远镜的几何特性就表现在这两点上，我们再进一步去说明这两个特性。在图 803-Ⅲ上，我们只以光束的轴（主光线）去表示光束。物镜所造成的远处物体的像 $Fb$，离物镜愈远即焦距愈长的时候，这像愈大。用来看这像的目镜 $o$，如果焦距愈短，这像所配的角愈大。所谓望远镜的放大率是两颗星的主光线穿出目镜和进入物镜所成的角度 $A'C'B'$和 $ACB$ 之比 $G$，即

$$G = \alpha' : \alpha。$$

可以证明，这样定出的放大率等于物镜的焦距和目镜的焦距之比。例如有一架望远镜，目镜的焦距长 2 厘米，物镜的焦距长 1 米，它的放大率便是 50。回头去看图 803-Ⅱ，我们提出一个要点：进入物镜的光束 $A$ 或 $B$ 比从目镜出来的光束 $A'$或 $B'$横剖面要大得多。人们容易证明，这些光束的直径 $D$ 和 $d$ 之比（$D : d$）等于物镜和目镜的焦距之比，也就是等于望远镜的放大率 $G$。如果我们要测定望远镜的放大率，或量两焦距之比，或量两光束之直径的比都是一样的，不过后面这个办法比较容易一些。

在图 803 所表示的天文折射望远镜里，$F$ 和 $b$ 是两颗星在物镜和目镜的公共焦面上所成的真像。如果在这焦面上我们放些实物，眼睛也会清晰地看见它们，天体的像就可以直接和它们进行比较。假使我们在焦面上装置两根形成十字的蛛丝，一方面有蛛丝的交点，另一方面有物镜的光学中心 $C$，这两点的连接线清楚地、精确地定出空间里的一个方向，我们的望远镜就成了一具定向的仪器。我们还可以在焦面上装置复杂的蛛丝结构，例如装置在仪器上的定丝及用精密螺旋推动的动丝，这种辅助的结构，叫做测微标线，可用以测量两颗星的距离 $Fb$，于是可以推出两颗星的方向之间的夹角 $FCb$，所以，具有测微计的望远镜是一具测量角度的仪器。

如果 $b$ 点离开物镜的轴比图 803-Ⅱ所表示的还要远些，它的光束便不能全部被目镜接收着，因为目镜的周界是圆形的，$Fb$ 是焦面上所绘的圆的半径，这个圆形包含在照明范围里可以观测到的象的全部，这叫做望远镜的视野。通常我们在焦面上放置一块涂黑的

金属片，在这上面开一个相当于视野的圆孔，这就是光阑。在目镜所看的视野的角直径是 $2\alpha'$(图 803-Ⅲ)，在一切常见的天文望远镜里，这个角大约是相同的，即是 35°。在物镜上，对应的范围是 $2\alpha$，叫做真视野，放大率愈大，这对应的范围就愈小。例如放大率是 70，视野的视直径是 35°：70，即约为半度，差不多是太阳或者月亮的角直径。所以只有在放大率大约是 70 的望远镜里，我们才可以同时看见太阳或月亮的整个表面，若放大率再大一些，就只能看到表面的一部分了。

利用天球的周日运动便很容易测量视野。将望远望指着一颗赤道上的星，测出这颗星沿着视野的一个直径走过去所需的时间。我们知道，在 4 秒钟内星走 1 弧分。如果一颗星用 1 分钟经过视野，这视野便有 1/4 度。这个方法加以精密的使用，可以测定标线间的角距离或者测微螺旋转动一周的弧度值。

进入物镜而且穿过视野的光阑的一切光束，在出来的时候有一公共的横剖面，在图 803-Ⅱ上便是 $mn$ 那一部分。这公共的剖面是一个圆，即是目镜所看出的物镜的像，我们把它叫做出射光瞳。如果我们在白昼里将天文望远镜对着天空，把眼睛放在目镜后面几十厘米，我们容易看见这个出射光瞳，形状像射在目镜周围的小光圈，位置在观测者的这一面。如果如上面所说过的，我们要比较出入两光束的宽度，去测定望远镜的放大率 $G$，测量的对象就该是出射光瞳的直径，因为这样便不需要平行光线的点光源了。一般使用望远镜的方法，眼睛应该放在出射光瞳上，以便收集和轴斜交的光束，这样便可看见整个视野。事实上，如果这出射光瞳比瞳孔大一些，从物镜进入的光线便有一部分不能进入肉眼，就如同物镜加上光阑缩小了一般。黑夜里瞳孔的直径达 6 毫米，如果物镜的直径是 10 厘米，我们只该使用超过 100：6 即 16.7 倍放大率的目镜。下面我们特别假设这个条件是满足了的，而且眼睛所放的位置足以使瞳孔容纳整个出射光瞳。

现在我们可以回答下面的这个问题：望远镜是怎样增加或者减少眼睛接收由天体而来的光的多寡呢？先讨论星的情形。星在望远镜里和肉眼所见的情况相同(至少在放大率不太大的时候)，像是一个很小的光点。但是这点的亮度增加很多，增加的数量是等于物镜的面积和瞳孔的面积之比。例如一位天文爱好者的望远镜，直径是 10 厘米，等于瞳孔的 16.7 倍，应该看见比肉眼所能看见的星暗 16.7×16.7 倍，即看见大约暗 275 倍的星，这个数字代表望远镜相对于星的相对亮度。

由于透镜的反射与其玻璃的吸收，损失掉一些光线。在讲解原理的这一节里，不能对此作详细的讨论，只举出这一研究的结果。已知在优良的天气下，肉眼能看到 6.5 等的星，则在不同口径的望远镜里，可以看见的极限星等，如下表所载。

| 物镜的口径 | 最低放大率 | 极限星等 | 物镜的口径 | 最低放大率 | 极限星等 |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 厘米 | 8.3 | 10.6 | 75 厘米 | 125 | 16.5 |
| 7.5 厘米 | 12.5 | 11.5 | 100 厘米 | 167 | 17.1 |
| 10 厘米 | 17 | 12.1 | 150 厘米 | 250 | 18.0 |
| 15 厘米 | 25 | 13.0 | 250 厘米 | 415 | 19.1 |
| 30 厘米 | 50 | 14.5 | 500 厘米 | 833 | 20.6 |
| 50 厘米 | 83 | 15.6 | | | |

天文爱好者的望远镜口径通常是 10 厘米至 12 厘米，比肉眼所能看见的星数增加 1 000 倍；如果用今天的巨型望远镜，这 1 000 倍的数字还可增加 1 000 倍（这不是对于目视观测而言，而只有照相的方法才可以达到望远镜的亮度或聚光能力的极限）。

以上讨论的是作为点光源的星星，它们是不会被望远镜放大的。这个理解不能应用于片光源，在这个情况下，望远镜的聚光能力需有新的定义。如果我们用以上所说的那个望远镜，附以 70 倍放大率的目镜去看月亮，它将完整地出现在视野里。物镜所接收的月光也全部进入肉眼，这光线的总量是肉眼所接收的 275 倍（细微的损失没有计入）。在黑夜观测的情况下，就使肉眼有一种昏眩的感觉，但是如果我们只去看月亮的一小部分，观测者反而又有光亮不足之感。因为如果放大率是 70，那么使用望远镜下的肉眼所接收的全部光线将是肉眼所接收的 4 900 倍。最后，月面的亮度缩减为 275 ∶ 4 900，即约为 1 ∶ 18。如果我们在同一物镜上使用再放大 1 倍的目镜，这比例就会变成上面的 1/4 即 1 ∶ 72。如果在相同的目镜下将物镜的口径加倍，这种表面的亮度就会增加 4 倍。

如果对于同一望远镜逐渐增加它的放大率，它对星的聚光能力不变（至少当放大率不超过某一极限值的时候）。反之，当放大率增加的时候，它对片光源的聚光能力就会迅速地减少，对于大气的漫射光也是同样的。这样就说明，大望远镜可以增加星的亮度，并减少天空的亮度，所以在望远镜里，白昼也可以看见亮的恒星。

我们说过，望远镜造成倒立的像，对于天体的观测无关紧要，只是对于观看风景有点妨碍。为了把倒像弄成正像，我们有两个办法可以做到这一点，或者在物镜和目镜之间放上全反射的棱镜（作用等于四个平面镜），或者使用一个特殊的名叫地面目镜的而且其里面有附属的透镜，将倒像弄成正像。

现在我们要谈到另外一些事实是和星光的性质有关，而是上面的几何光学所没有谈到的。

假使用很高倍的放大率去研究星象，例如在 10 厘米口径的望远镜上使用 200 倍的放大。星象就不会是一个几何学上的点，而成为一个小的亮圈，中心比边沿明亮，外边先有

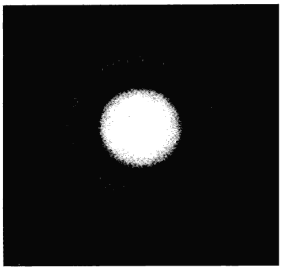


**图 804　星的衍射象**
这是在很好的仪器和很好的大气情况下所形成的。

一个暗淡的环，再外边还有一些更暗淡的环(图 804)。这种现象和光源的形态没有丝毫关系，它只受进入物镜的光波的形式和范围的影响。这是由被圆形物镜所选择的波阵面所形成的情况。这些环绕着几何光学的点的圆圈，叫做星光的衍射现象，只和所用的物镜的口径有关，它的角半径和这个口径成反比。如果口径是 10 厘米，衍射圈或星的假轮将有 1″.4 的角半径，便像一颗 14 毫米直径的小珠放在 1 千米以外所成的形象那样。

这个现象就限制了我们对于望远镜里所能查出的细节程度。如果我们观测一对密近的双星，两颗星的衍射圈互相穿插，假设两颗星大约一样明亮，如果它们之间的距离不短于 1″.2，我们还可分辨出它们是两颗星，这叫做所用的物镜的分辨限度。为了看见衍射圈，因而可以达到分辨限度，所需的最小放大率，对于 10 厘米口径的望远镜将是 100。200 倍的放大率使我们可以看见衍射斑和衍射圜，可以看见这个星象里的一切细节。如果目镜的放大率再增加，这些衍射现象将更显著，可是也就变为更暗淡了。

如果物镜的口径比上述的口径小一半(5 厘米)，则所形成的衍射斑痕的角度将大一倍，因而分辨限度也增加到 2″.4。如果要看的星象的细节正如上面的例子里肉眼在相同的角度下所看到的，50～100 的放大率就足够了。有一条容易记忆的规则：将物镜的口径化为毫米加倍，作为放大率的倍数，便很容易看出衍射轮圈。

我们说过，应用大的倍率去观测广阔的对象，便会减弱象的亮度。如果光亮不足，我们的视觉便失去了敏感度。观测行星的时候，我们便应该摸索出最能感觉出细节的放大率，最好的放大率一般总是小于上面所说的那个规则的。天文望远镜一般具有一套可以交换的目镜，可以取得各种的放大率，我们可以从这里去选择最适宜于工作所需要的视野的亮度和大小。

总之，适宜于折射镜的最小的放大率等于以毫米为单位的物镜口径除以 6，最大的放大率等于相同的数字乘以 2。市场上出卖的物镜，焦距常是口径的 15 倍。利用上面所说的放大率的定义，读者可以计算目镜的最有用的焦距是在 7.5～90 毫米之间。

天文观测需要的望远镜应当满足光学的要求，这句话的确切意义是，在最大的放大率下，它能够表现出衍射斑痕的正常形态。设想将物镜分裂为许多连接的小单元，这些单元全体所成的像，只是在每一单元光束所带的光能量以同位相达到焦点的情况下才算完善。瑞利爵士给予一个可容许的限度：如果到达焦点的光波有一部分相差不超过 1/4 波长，则

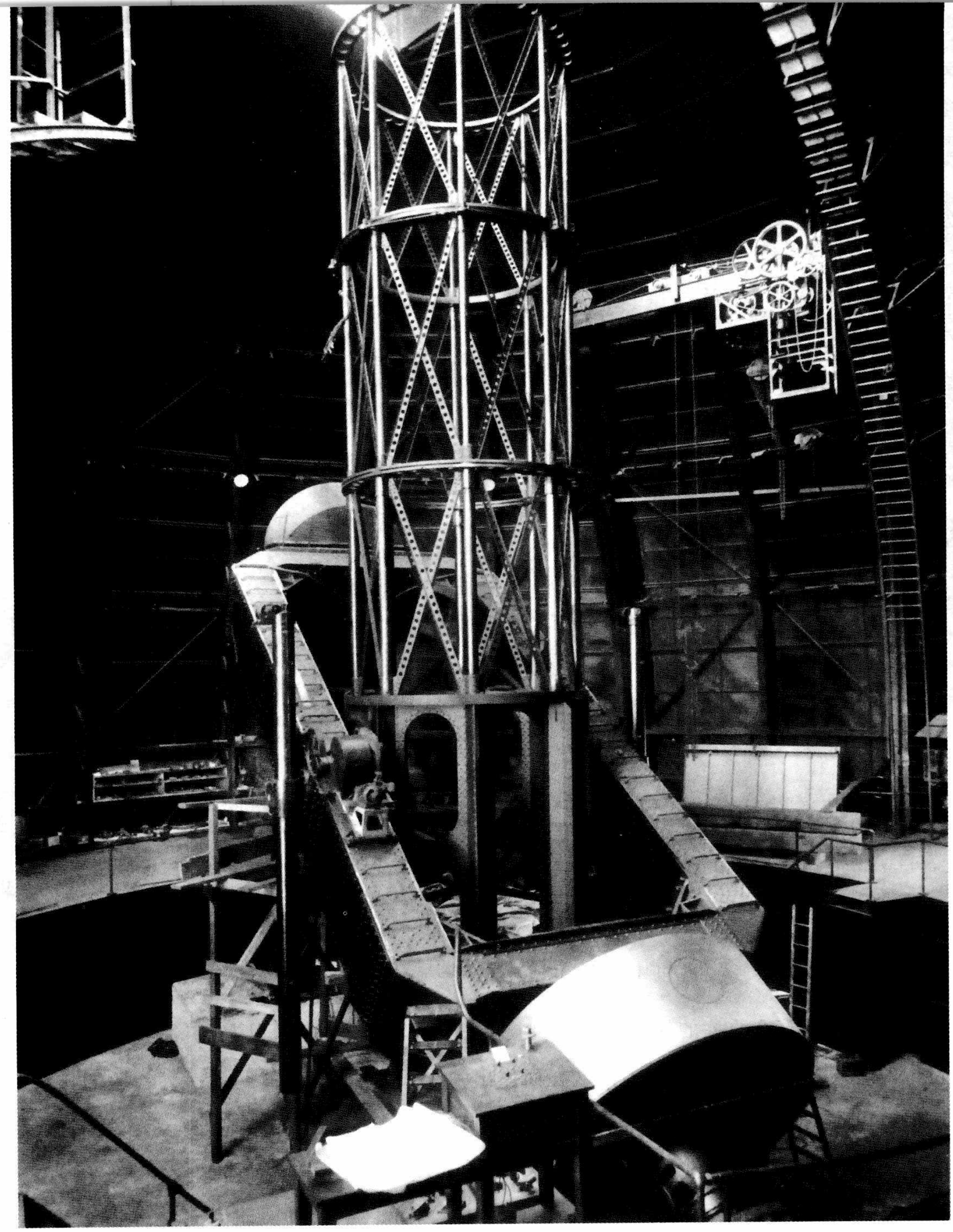


图 805　威尔逊山天文台 254 厘米口径的反射望远镜

衍射花样的变化不至于太有妨害。眼睛感觉到最灵敏的光，波长大约是 0.5 微米，所以 1/8 000 毫米是可容许的缺陷的限度。这样的精密度比我们操作机器运动的精密度还高。我们不在这里叙述达到这样高的精密度的方法。我们只说这种方法基本上是琢磨玻璃，自从有光学的技术以来，这还是唯一的方法（第一批眼镜磨成于 18 世纪末）。琢磨玻璃的工作起初是纯粹根据经验的。但是 18 世纪中叶，最能干的光学仪器工作者已经知道怎样

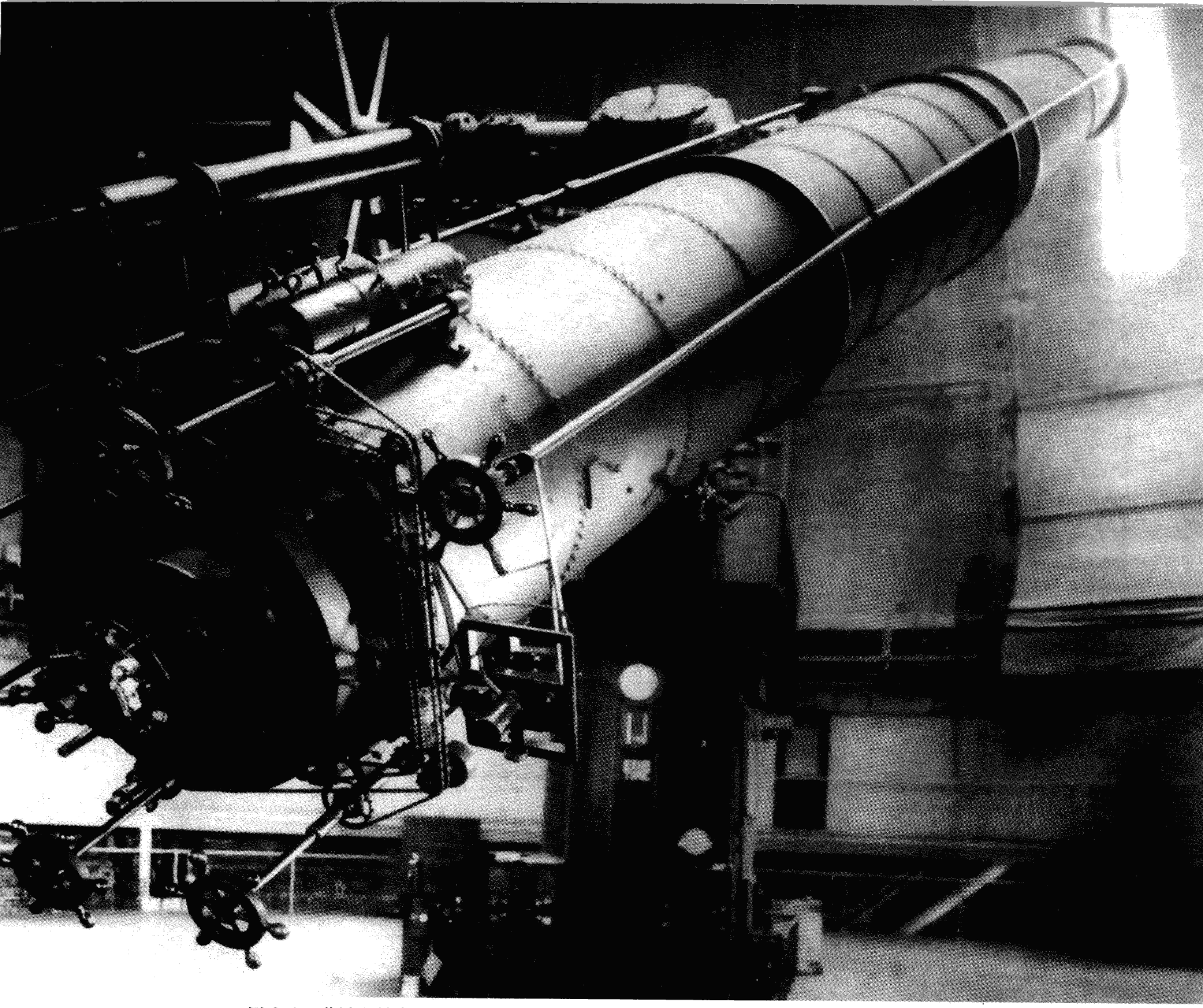


图 806 世界上最大的折射望远镜(口径为 102 厘米，焦距为 19 米)(在叶凯士天文台)

消除目镜上所看见的象的缺陷，即是从这里去改进工作的方法，以避免像上的缺点。19世纪的时候，傅科(1819—1868)在这方面作出一个大的进步，他发明了一种检验的方法，不但可以查出小于容许程度的误差，而且还可确定误差在镜上什么地方。今天我们已经有达到目标所需要的很可靠的方法。

星光所经过的光具组有一部分不是来自于人手的——这是地面的大气，它可算是最有缺陷的一部分。即使在很澄静的气候里，大气的吸收也使辐射的测量复杂化，而且短波区域的辐射完全被截断不能通过。大气绝不是一种均匀的介质，它里面常有冷热不同因而是屈折率不一的气团在流动。望远镜里所成之象因而在模糊跳跃，正如我们观看火炉上的物件一样。这效应一半是和地理与地形有关，因此在建造天文台以前，为选择台址必须做很仔细的实际观测。我们要叙述一些有关这些有害的现象，因为即使是天文爱好者所用的小型望远镜，也受到这些现象的影响。

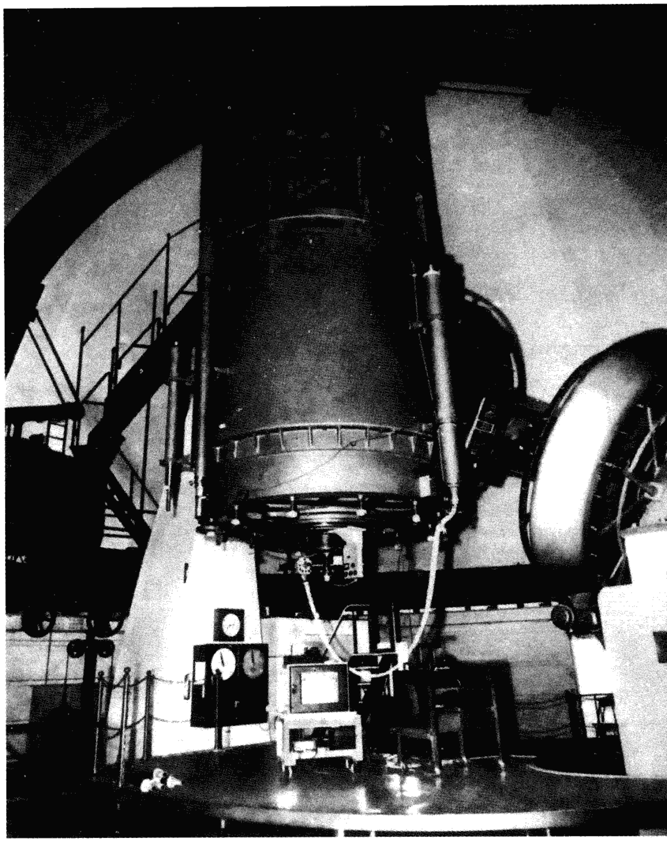


图 807　麦克唐纳天文台口径 208 厘米的反射望远镜

大气微弱的骚动在星象上的表现是衍射环的亮度不均匀，我们看见的是迅速运动的光点。骚动更厉害一些的时候，中心斑痕做不断的变形，同时衍射环破裂成不规则的碎片。在这样的大气骚动之下，分辨限度显然会受到影响。我们所看见的，有时不是寻常的星象，而是在迅速颤抖混淆不清的斑痕，它们比平常的衍射假星轮大了许多。于是这斑痕的大小限制了分辨力，使足以明辨这斑痕的更大倍率的目镜完全无用。

如果我们使用十几厘米口径的望远镜去观看月亮，大气微弱的骚动只使月亮的像整个的变形，每一部分的细节仍然如往常一样清楚，所以我们说像在波动。在强烈骚动的情形下，细节也模糊不清，边沿混淆错乱，好像在射出火焰一般，因此我们说像在沸腾。

大气澄静的程度须达到能使我们看清衍射花样的正常形态，物镜的口径愈大，这要求便愈难达到。75 毫米口径的折射镜差不多每夜都可观测到好的星象，而对于口径加倍的折射镜，情形便是另一种情况，但是勤勉的观测者有可能等待到优良的气候条件，从而得到小型仪器难以得到的细节。

在同一瞬间里，星象的骚动从天顶至地平线按星光穿过空气的厚度而增大，所以观测天体最好是在子午圈的附近。观测地点最好是在空旷的地方，只有使用很小的折射镜，才可在屋内透过窗门去做观测。

大气的骚动严重地影响风景的观看，特别当光线掠过被晒热的地面通过远距离传来

的时候更是如此。在100米处的物件可以使用放大率很大的目镜进行观测，至于几千米以外的物件，很少使用放大40多倍的目镜。

我们说过，在大气骚动剧烈的时候，可以使用光阑去限制物镜的口径。这样做自然是使衍射做成的假星轮变大，促使骚动的斑痕沉浸在该轮内。星象显然更澄静一些，当然不能显现出新的细节，亮度也变小了。

我们在上面叙述了望远镜的基本构造和一般性能。现在我们再谈一谈制造的方法或技术的细节。我们只说一些使用望远镜的天文爱好者必须具备的知识，另一方面再说一些巨型望远镜演进的经过。

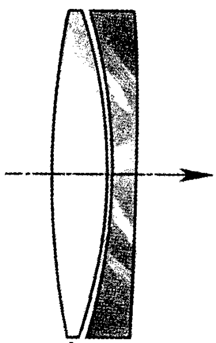


图808　消色物镜

如果折射镜的物镜只有一片透镜，那么便有两个大的弊病。因为透镜上每一小单元的作用像是一个棱镜，它折射白光内各单色辐射不是一样的，比如焦距 $CF$（图803）对于绿色光比对于蓝色光要长一些，对于红色光更长一些。所以一个发多色光的物体的像上有彩虹的颜色，使得所成之像不很清晰，这个缺点叫做色像差。自18世纪中叶以来，人们才知道制造消色差物镜，即是将不同质料的玻璃所磨出的透镜合并在一起（图808），以消除像上的颜色。透镜中一片凸形透镜，是用和窗户玻璃成分相同的玻璃（冕牌玻璃）制成的，另一片凹形透镜，是用含铅的晶体玻璃（火石玻璃）制成的。这样的装置还有另外一种好处。如果只用一个透镜，即使对于单色光也不能造成完全清晰的像；如果口径与焦距相比还不算很小，接触透镜的周围的光线与通过中央的光线相比，焦点更和透镜接近一些。这种误差的来源是由于透镜面是球面，这叫做球面像差。如果用两片玻璃组成的透镜，我们便可将球面像差和色像差同时消除，方法是适当地选择四个玻璃面的曲率。读者在常用的望远镜，如风景镜、观剧镜、双筒镜以及天文爱好者所用的小型折射镜等的物镜上，都可以看出上面所说的那种装置，当然天文台的大型望远镜更是这样了。

我们知道，一个凹面反光镜能够将远处一点所发的光汇聚成像，作用和物镜相同。所以望远镜该分为两大类：即物镜由透镜所组成的一类叫折射镜，与物镜由反光镜所组成的另一类叫反射镜。这两类望远镜的基本性质是相同的，上面所说的放大率、视野、亮度、分辨限度等名词完全可通用于这两类望远镜。可是由反射而成像还须有另外一套装置，现在说明如下：

为使一束平行光线 $A$（图809）会合在一点 $F$，凹面反光镜的子午线 $SM$ 应该是以 $SF$ 为轴的抛物线。最简单的办法便是用使光线投射到远方的探照灯那样的装置，但是这只

是在原则上相同而已。对于同直径的反光镜而言，望远镜的焦距比探照灯的焦距常长 10 余倍，因而反光面磨制的精密度应有几千倍之高。在 $A$ 点附近方向上的物体，在焦面 $P$ 上所成的像亦在 $F$ 点的附近。于是我们可将天体的形象接收在 $P$ 处的照相底片上面。安放底片的装置不免遮着一部分入射的光线，因而使光线有一些损失。这样的装置是最简单的，实际上应用于天体的拍摄。在帕洛马山现今最大的反射镜（口径 5 米）上，人们在 $C$ 点装上一个柱形的、足以容纳一位观测者的小筒，因为拍摄的对象常是离地平线很高的天体。观测者的座位是不太舒适的，我们可以想象，他坐着而且依靠着夹在两膝之间的盛片盒上。

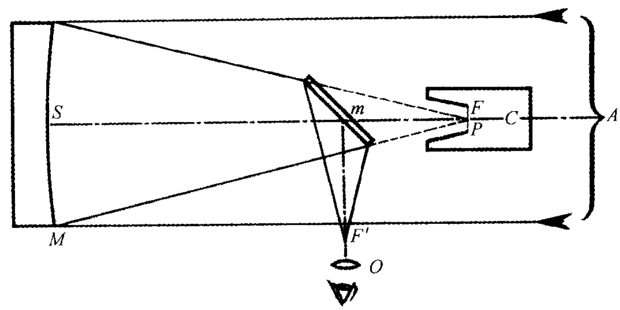



图 809　反射望远镜（牛顿装置）

更常见的装置是如同下面所说的这几种，它们都是在 17 世纪就有了的。牛顿在焦点面前略微大于口径的一半的距离处放上一个平面镜 $m$（图 809），它将焦点移动到 $F'$，然后将目镜装在望远镜镜筒的筒壁上面。图 810 表示卡塞格林式（Cassegrain）的装置，它维持仪器的对称性，副镜 $m$ 是凸面的，由它反射的光束经过主镜中央的圆孔，成像在最后的焦点 $F'$ 上（图 810），所成之象被放大的比例是 $mF' : mF$。卡塞格林式的装置可以比拟做一个远距物镜，它上面的凸面反光镜 $m$ 是一个散光的单元。

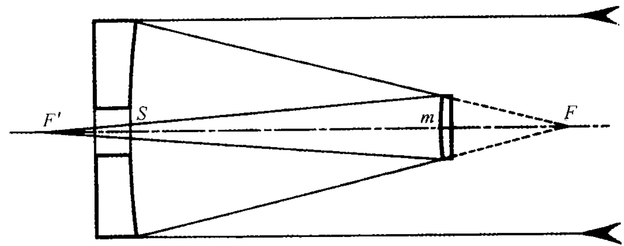



图 810　卡塞格林式反射望远镜

我们还需提到另外一种装置，它与天球的周日运动无关，成像的地方总是固定不动的。这样的装置对于安放分析天体辐射的附属仪器是必需的，所以巨型摄谱仪应当放在恒温室里固定的位置处。这种装置有一套活动的平面镜，将光线送入固定的折射或反射

镜里去，这叫做定天镜，常用在对太阳物理的观测上。因为这种仪器所需要的口径不大，所以是容易研制的。可是我们不能在研究恒星辐射的大望远镜前面安装上一具定天镜。我们不将平面镜放在物镜前面而放到焦点附近，并且改通寻常的卡塞格林式的装置，不让光线通过大反光镜，光束被小型的几个平面反光镜截获。不管望远镜在任何地方，光线都被送到一个固定的方向上（肘形装置）。近代所研制的大望远镜都具备以上各种装置，只需移动附件，便可得到所需要的任何一种装置。

在以上所说的应用于天文学上的光具组，如果我们不谈到专门为照相而用的装置，那便是不完全的。照相的方法可以使人同时研究一个广大的天空区域，因此光学的装置应当使大视野里的星象都很明晰；另外一方面，片光源如星云或者彗星，在底片上的照度（照度与物镜的口径和焦距之比的平方成正比例）应该是尽量的大。通常照相机的物镜满足了这两个条件，足够用来拍摄地上的人物。拍摄天象就须使物镜的口径和焦距长得多，可是这就不可能办到，因为要增大光具组（比如 20 倍），同时我们也就将两种像差增大了 20 倍，在小仪器上这样的缺点对于底片上的感光颗粒还无关紧要，但在大仪器上就成了不能容许的缺陷了。按照平常的方式很难制造一个焦距长 2 米的物镜，使所成之象正好盖满一张 25 厘米×25 厘米的底片，而又得到天文测量所需要的清晰的程度，即使是我们只追求一个相当小的相对口径，如 $F:10$。于是光学家当另行设计一种与平常绝不相同的图样。我们只提一下今天大家喜欢使用的汉堡的施密特于 1934 年所创造的一种装置（图 811）。$M$ 是一个球形凹面反射镜，$D$ 是一个光阑，它的口径的中心便是反射镜的曲率中心 $C$。经过这一点的光线都垂直地落在反射镜的面上，以这条光线为轴的光束成像在以 $C$ 为中心、以 $M$ 的半径的一半为半径的球面的某一点上，如 $F'$。将一张软片贴在 $P$ 处的一个球面感光胶片匣上，去接收所成之像。由于这个光具组特有的对称性，底片上凡是如 $F'$ 之点的像都可当做一个轴向的像，它只有一种缺点，即上面所说的球面差。我们在放置光阑的开口上装上一片薄的玻璃，其表面具有一种特殊的形状（磨制相当困难），如图 811 所表示的。这片玻璃中央部分的形状是略凸的透镜，边沿是凹形的透镜。这样就使中央部分的光线汇聚

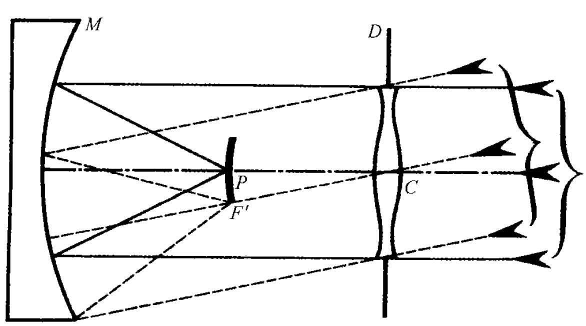



图 811　施密特照相望远镜

得快，边沿部分的光线汇聚得慢，于是使各部分的焦点全汇在一点上。施密特的基本观点后来有了许多变化和改进，我们不必在这里详细叙述。我们只介绍根据这个原理已经造出的大型仪器，其口径达 120 厘米、焦距只有 3 米，足以在 25 厘米直径的表面上成像，到处都得到完美的清晰度。

施密特将反射镜和折射镜综合而成的装置，解决了一个特殊问题，即如何在大的视野里有很大亮度的拍照。我们回头再来讨论折射镜和反射镜，说明它们各自的特殊用途。

在折射镜上装置光具组相当方便，既少受机械约束的影响，又可得到稳固的装置，而且一经调节准确便可以使用很久。这些优点推广了它的用途，从最常见的双筒观剧镜以至方位天文、大地测量、航海、航空上所使用精密测量角度的仪器，都使用折射镜。初学观天的人也宜使用折射镜，所以自学校以至天文爱好者每年购买了不少的折射镜。可是折射镜不能满足科学研究上的一切需要。对微弱的星光的分析需要大的聚光仪器。因天体物理学的发展，天文学家竞相制造大型望远镜，反射镜便战胜了折射镜，其原因叙述如下。

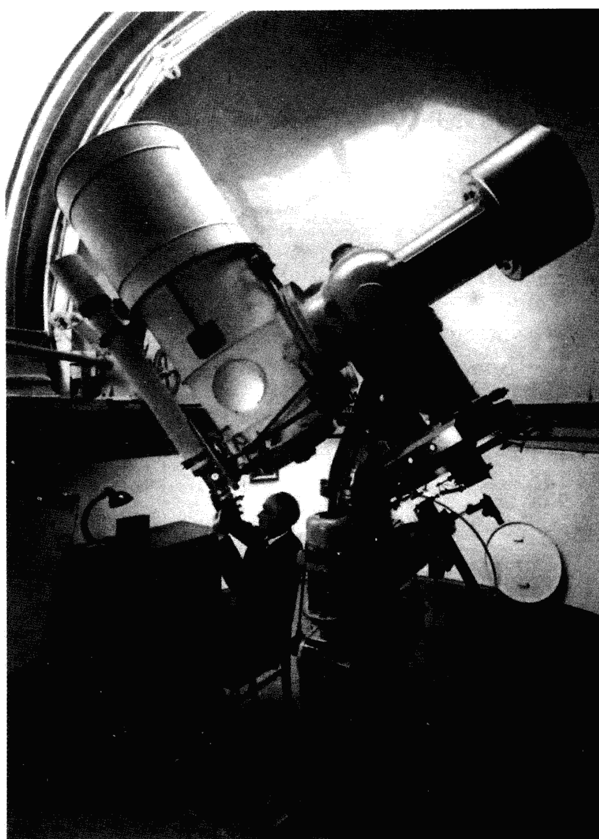


图 812　施密特-马克苏托夫照相望远镜

折射镜上的几片透镜应当是完全均匀的，而且无丝毫缺陷。光线穿过透镜总遭受到一些吸收，吸收的量随透镜的厚度而增加，尤以短波更为厉害，有可能将透过大气而来的紫外线完全吸收。色像差和球面差只能大致而不能完全被人消除，这些残余的缺点将随仪器的扩大而更加显著。为减少这些不良的效果，人们便制造很长焦距(达 20 米)的折射镜，容纳这样笨重的又长又大的仪器的圆顶室不但很贵，而且同一物镜很难兼顾目视和照相两种不同的工作。现今最大的四个折射镜的

口径分别是 80 厘米(波茨坦,1905 年)、83 厘米(默东,1896 年)、91 厘米(里克,1888 年)和 102 厘米(叶凯士,1897 年)。最后一个折射镜(图 806)还保持着最大的记录,暂时不会被更大的口径打破。这些大玻璃都是在巴黎铸造的,现在很少有人知道,在法国光学玻璃的制造业曾经是一个很出色的工业。

自傅科的工作以来,反射镜的镜面都使用玻璃,这只是因为玻璃可以磨得很平滑的缘故。它的作用只是支持一层镀在它上面的反光的金属(银或铝)薄膜。玻璃本身的缺点就完全不起作用,因而玻璃的铸造就容易多了。不管目视观测或者照相观测都可以使用反射镜,因此可以制造一具焦距相当短的反射镜,这样便可使机械装置和圆顶构造都简便而节省费用。现今世界上有 40 多具口径大于 80 厘米的反射镜,最大的装置在加利福尼亚的帕洛马山上,口径长 5 米(图 802)(后来苏联又制成口径长 6 米的反射望远镜)。

我们说过制造光学仪器需达到的精密度。假设光学仪器的制造者达到了这种精密度,但还有意外的原因会使仪器的表面在使用的情况下改变形状。在精密的机械制造上,固体的一些形变经常可以略而不计的,可是在光学仪器的要求下,却需要考虑进去。近代望远镜的精良主要是由于深入的研究,避免了镜面在支持点之间因自身的重量而产生的弯曲。另外一个意外变形的原因是,当做天文观测时,仪器上的温度有变化。黑夜温度下降,仪器外部散热,使得镜面变形。为减少这种有害的效应,我们采用膨胀率特别小的特种玻璃。在镜面下适当的地方装上微量的热源,以使玻璃里的温度均匀地分布,因而消除这种有害的效果,这是一种近代的改进方法。

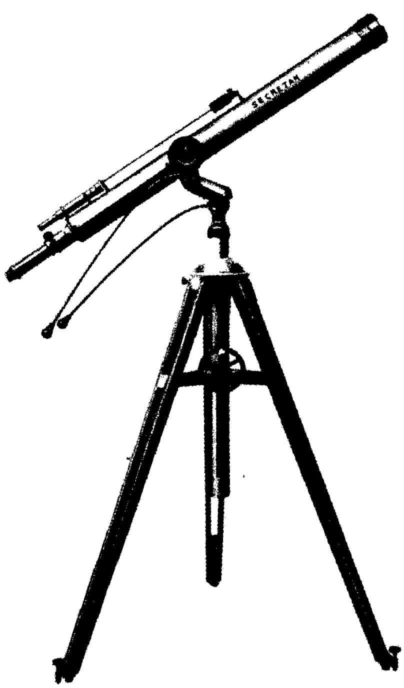



图 813　地平式装置

讨论了望远镜的光具组以后,我们还需谈到支持它们的机械装置。用望远镜进行观测的时候,大家都欣赏镜身的稳定,只是放大率很低的(2 倍或 3 倍)观剧镜才握在手里。一具观看风景的双筒镜(放大率 8 倍),除非把它装在离开观测者身体的支架上,是不能显出它可能达到的效果的。天文爱好者所用的可以放大 200 倍的折射望远镜,更是需要一个很坚实、很精细结构的装置。图 813 表示一种常用的方便的装置。

望远镜筒由两个转轴安放在叉形臂所支持的两个枕木上，这枕木便作成一根自转的水平轴。叉形臂可以绕着一根垂直轴转动，这样便得到瞄准任何一点所必需的两种运动。由图 813 可以看出，平行于镜筒的杆上有一个可以移动的锤，它的作用在于维持平衡，因为两根轴的运动有一点摩擦，使仪器总是稳定在人们所引导到的方向上。图中的这个模型带有两个联系在柔软的杆上的手转柄，其转动连接在齿轮的螺旋上，可以给两旋转轴以微小而确定的微动。对于使用高倍放大率的望远镜，这样的附属装备是有益的。还有一根附有齿钩的垂直柱，可以将仪器抬高，以便做靠近天顶的观测。我们说过，高倍率的放大使视野变得很小，于是只沿镜筒去瞄准对象便不很容易，因此在主要望远镜上附有一个低倍率大视野的望远镜(寻星镜)。它的目镜上附有十字蛛丝两根，这对蛛丝一经校准以后，凡是在望远镜的最大倍率的情况下，在目镜的视野里能看得见的东西，都必定出现在寻星镜的十字蛛丝上。

天体因周日运动在视野里改位。在放大率愈大的视野里，离北极愈远的星移动得愈快。所以在观测的时候，应当不断地变动两个旋转轴从而校正望远镜的位置。天文台的工作不容许这样随时的移动，于是人们想出赤道装置的办法。这种装置的原则是简单的。为了瞄准天空中任何一点，需要两个正交的旋转轴。其中的一个叫做极轴(图 814、815 和 816 中的 $PP'$ 线)，它倾斜地指着一定的方向，即是与地球的自转轴平行的方向，一经装好，不再更动。为了使天体追随周日运动，应当使极轴均匀地转动，速度恰好等于地球自转的速度，方向恰和地球自转的方向相反。一种名叫转仪钟的仪器便可完成这个任务。在图 814 所表示的装置里，极轴上端装有一具钢叉，借转轴 $DD'$ 支持着望远镜筒，这种转轴叫做赤纬轴。这种装置特别方便，常用于中型的反射望远镜，因钢叉上载重悬垂，我们需将极轴(至少它的上部)做得相当粗大，这样转动就很难灵活。图 815 表示英国式的装置，这里极轴固定在枢轴上，赤纬轴上载重悬垂。近年来，许多望远镜采用这种装置，支持枢轴 $P$ 和 $P'$ 的两个柱头是用钢筋水泥制造的。

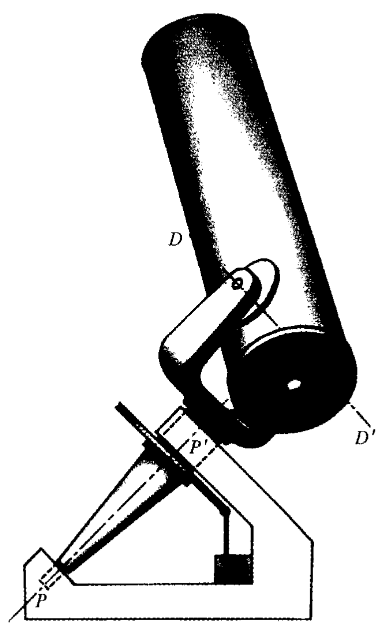


图 814　叉式装置

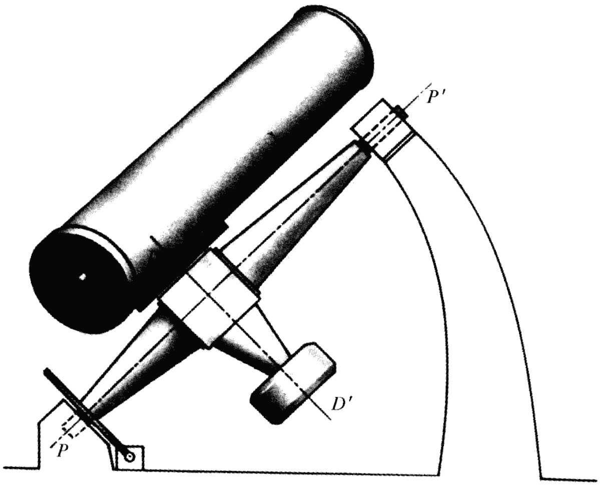



图 815　**英国式装置**

许多很长的折射镜采取德国式的装置，它的两个转轴比望远镜的焦距还短，两轴的载重都是悬垂的。图 806 和图 816 内的望远镜都是用这样的装置。为避免两轴上有悬垂的载重，世界上最大的两个望远镜的装置是这样的：威尔逊山的 2.54 米口径的望远镜（图 805）的极轴是一个矩形的钢框，被两个枢轴载着，这样的装置容易制造，但不能指向极点；帕洛马山望远镜（图 802）的钢框上端是一个马蹄形的开口结构，它的柱形的外部是很大直径的转轴。

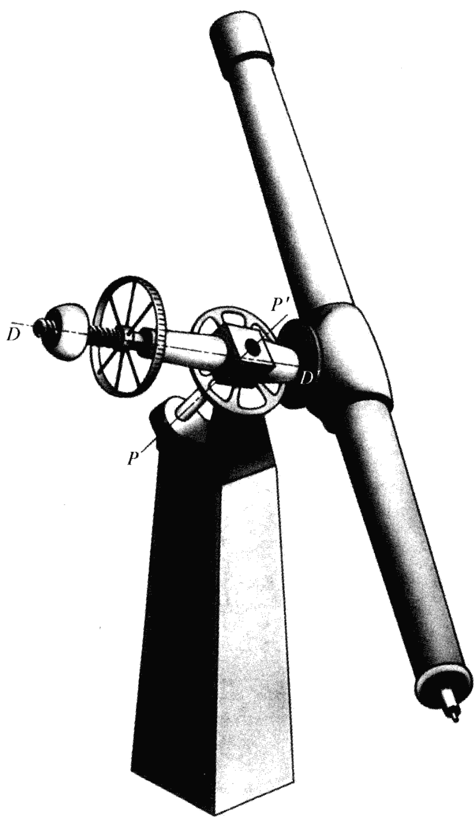



图 816　**德国式装置**

使望远镜指向所要观测的天体，并没有什么技术上的困难，这个问题在大炮的结构上已经得到解决的办法。只是极轴应该追随星的周日运动，这个条件引起一个难于解决的问题，这问题是使星象固定在照相底片上，即使焦距长至 10 米或 20 米，也不要差错到几微米。这样便需使极轴在支持它的转枢上摩擦小而且不变。因为旋转速度很慢（23 时 56 分为一周），而且在重载下不适宜用好的滑润剂。起初有人使用辘轳，继后有人想用水力去减轻转枢上的负荷，方法是使几个固定在极轴上的柱头漂浮在液体的表面上。1891 年，康芒（Common）所造的望远镜上面有一个柱形的壳，漂浮在水上。如果液体是水银，漂浮

物的体积还不会太大，这和海上灯塔的建造有着相同的技术。美国的几座大望远镜（如威尔逊山上的大望远镜）就是这样制造的。球状和柱状轴承的改进大大便利了这方面的工程，现在已经普遍地得到使用。但是因为载荷太重，使人不得不采用垂直轴的涡轮式发电机上的支持物，那就是高压下的液体。

赤道仪的转动应该是均匀的，它的速度有着很确定的数值。起初有人使用如同时钟上那样的调节器（转仪钟）。近代的望远镜常用摆钟控制的电动机，其方法是用一种振荡器（音叉或振荡的绳索）去调节频率固定的交流电，再把这种电流适当地放大，送入同步的电动机里去。

事实上，推动赤道仪的装置纵然很有规则，但对于稍久一点的观测，我们不能盲目地依靠它。一方面，因仪器在位置上有变化，不免发生弯曲；另一方面，大气折射使星光改变方向，于是观测常处在变化的情况之中，因此天体的周日运动并不如一般天文书籍里所说的那样：简单而均匀。所以，赤道仪的运动需根据观测作不断的校正。其方法是，在观测的对象旁边选择一颗导星，观测者不断地监视着借以发觉应该给予仪器的校正分量。观测者需既耐心又密切注意。现在天文学家用光电管去做这种导星的工作，赤道仪稍微出规，光电管即加以自动的调节。这种校正的工作是由电动机推动一系列的齿轮而完成的。在长时间的拍摄里，如果将赤道仪时常做少许的移动，例如移动一个弧秒的分数，我们就不需在整个笨重的仪器上去作修正。我们让望远镜追随周日运动，只让盛底片的盒子和盒上的导星目镜移动一点去作这个修正。

在结束谈论天文观测的光学方法这一章以前，还该提一下望远镜观测星象的接收器，但本书对于供特殊研究所用的附属仪器就不再提了。我们也不再提我们眼睛的性质——那是个涉及面广的题目。我们讨论望远镜的亮度和放大率的时候，曾经举例说明仪器对于接收器必须具有的适应。我们现在要比较一下两种重要接收器——照相和光电——的特性。

照相底片所保存的天象并不如目视所得的结构一样精细，照片上分解的限度只能达到半个弧秒。可是照片的记录比目视的印象有几个重要的优点。首先，照片能够将现象保存永久，综合记录。在晴朗时几点钟里所拍到的照片是一个经久的文献，其中的材料不但足供几个星期的研究，而且还可代替几个月的目视观测。事实上，天体照相将我们已知的宇宙推广到不可思议的遥远。可是最好的照相底片还不及我们的视神经那样敏感。设想有一个物件反射光芒，在肉眼里出现 1/100 秒即可以被我们看见，而要使这个物件在这相同的时间里被和肉眼一样大的仪器拍摄下来，它须得有几千倍的明亮。

但是照相底片却具有一个很可宝贵的性质。光的感觉随眼睛的被照明的时间而增

加，可是这时间极短暂，仅在零与十分之几秒钟之内，但是光线在溴化银乳胶上所起的作用随露光的时间而增加，这时间可能很长，这样足以补偿以上所说的底片的缺陷。肉眼所能看见的最不亮的物体，可能在 1/4 秒钟发生感觉，而要用和肉眼一样的仪器去拍摄，露光时间须多至 3 500 倍，即约 1/4 小时。现今的天文照相露光时间之长有至 25 小时的（分为几夜露光），用这样的仪器有可能记录到比视觉的极限所能看见的星还暗 50 倍的星〔肉眼只能分辨出较亮发光体的颜色。发光微弱的物体，眼睛无法分辨它们的颜色。近年来，天体的彩色照片拍摄成功，向我们显示了星球世界的绚烂色彩，有助于我们进一步探索宇宙的秘密。参看本书的彩色插图，并参看《天文爱好者》月刊 1964 年 8 月号以及《科学画报》1964 年 7 月号。——校者注〕。

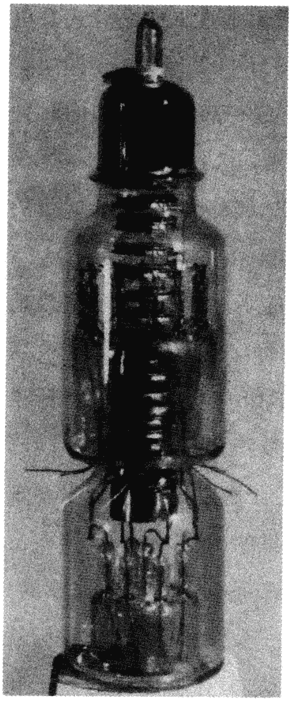


图 817　拉耳芒的 19 级光电倍增管，为测量天体光度使用（巴黎天文台天体物理实验室）

当光线被某些物质（在适当物理情况下的钾、铯、硫化铝等）所吸收的时候，它们就从表面射出自由电子，这些电子可能被一个带正电荷的导体所吸收。于是我们得到一种电流，原则上是和入射光的流通量成正比例。现今的技术能够使光电接收器有惊人的灵敏度，这种技术以两种不同的方式用在天文的研究上，即光电倍增管和光电象管。

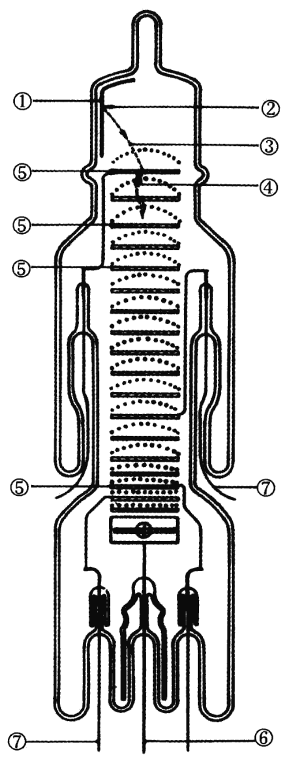



图 818　光电倍增管的原理
1 为光阴极面，2 为光射入处，3 为光电子，4 为次级电子，5 为反射极，6 为阳极，7 为向反射极输电的导体。

被光线释放的电子从光电倍增管的光电发射面出来（图 817、图 818），速度是相当小的。我们使用一种阳极高电压去提高这个速度，然后将这些高速的粒子射在有下列特性的物质的表面上。这表面接收一粒高能的电子，就会发出几粒自由电子，这样的办法连续做上几次，于是电子的数目在这样的每一个过程上均有增加。比如，我们已经能够将这样的光电结构重复到 19 级，放大到以亿计的倍数。现在我们已经能够对于一颗在望远镜里看不见的暗星，借电流计上的读数精密地测出它的光强度。

还有另外一种装置。设想我们用通常的光具组,使研究的对象成像在光电发射面上,这面上的每一点都成了一个发射电子的来源,各点发射的强度和被照的亮度成正比例。这些光电子从一个加速电位差得到一种确定的速度,然后再用一种光电的装置,如电流螺旋管或可以聚焦的带电导体来改变电子的路径,使由同一点源射出的电子经过空间里相同的一点。因此我们可以将这光电阴极的电子像接收在一个表面上。如果这接收面是一个类似电视机上那样的荧光屏,这个仪器就可用做目视观测。这种装置也可以逆转过来,如果光电阴极受了一种肉眼不能感觉到的红外光,我们就可以造成一种光电象管。

另外一方面,现在我们能够制造感觉通常光线的光电阴极和支持很高的加速电位差,因此使荧光屏上的亮度超过原来的光学成像,于是我们制造出一种光线倍加器。另外,还有其他的变形。在荧光屏的位置上,我们放上一张照相底片,这张底片直接记录电子所成的像。用这种转变的方法,我们已经可以在一秒钟内拍摄到以同一仪器用通常的办法需要一分钟才能拍摄得到的暗星。

这些最近获得的成果显然是很引人注意的。如果仔细分析,我们就会感到这些方法真是大有前途。上面说过,肉眼对于弱光的感觉有一个限度(视阈),光线弱到某一个程度,视神经就没有感觉。照相底片的效率亦因照度变弱而减少,要拍摄上 1 000 倍暗的物体,所需要露光的时间远远超过 1 000 倍之久。重要的事实是这样的:光电效应没有最低的限度,而且它的量子效率恒常不变;还有,如果将照相底片用做电子检验器,它的效率也不会改变。这样看来,这些新技术的发展好像可以消除原来的基本障碍。我们认为,光电效应应用在观测科学上将要发生的作用会超过于照相术的发明,这绝不算是夸张的说法。

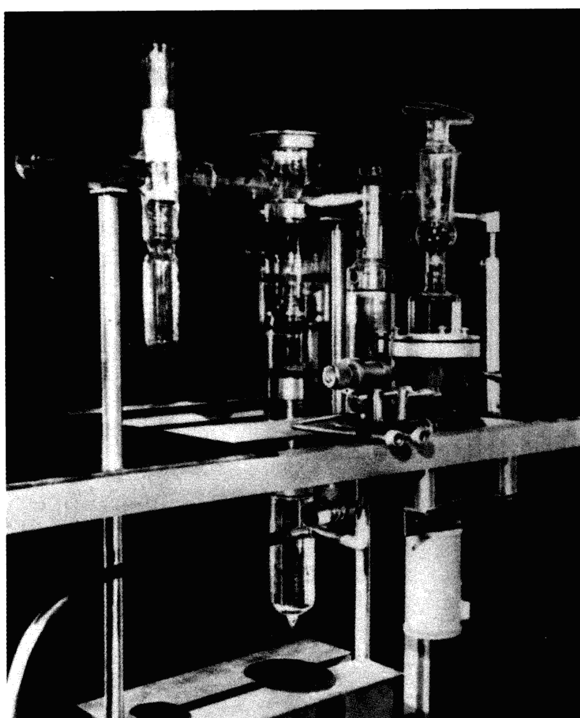


图 819 拉耳芒的光电像管在它的抽空架上(巴黎天文台)

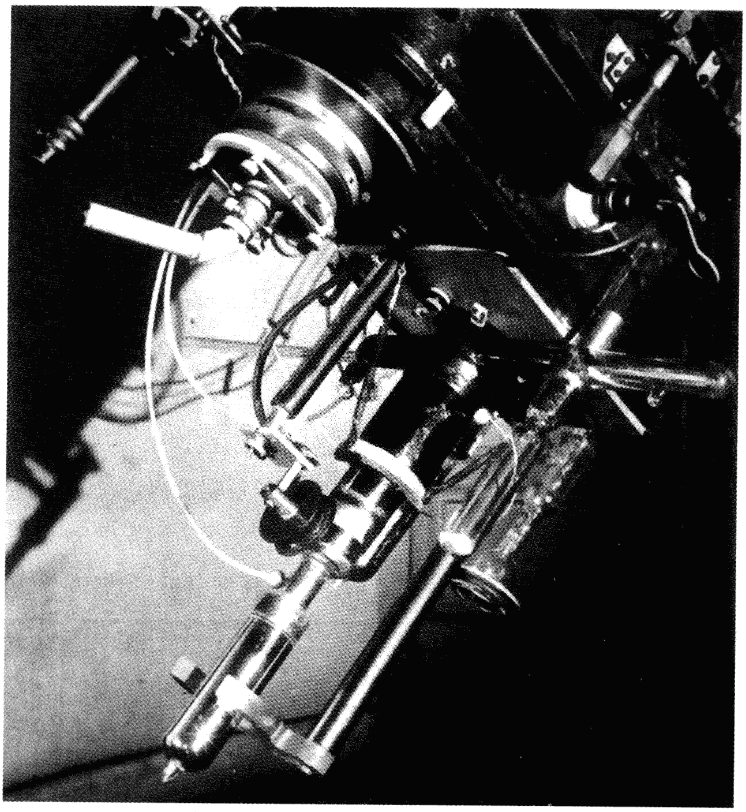


图 820　拉耳芒的光电像管，同一仪器装置在折射望远镜上面（巴黎天文台）

# 附 录

# 第一章

# 地球的结构

## 地震波与地球的内部

由于最深的矿井与铅孔，只达到地面以下几千米，所以要了解地球内部深层的结构，只能使用间接的证据。火山爆发时从地球内部涌出的岩浆亦只暴露下层很短距离处的特殊区域的情况。地震波在地球内部传播既深且广，它们的速度与性质可以对于地球内部的结构提供极重要的信息。

地震波表现出各种方式的振动。所谓初波（P 波）是像声音那样的纵波，由压缩与膨胀而传播；次波（S 波）是像水面的波纹那样的横波，是一种切变波。P 波比 S 波传播较快，前者在中层里的速度达 8 千米/秒，后者只有 5 千米/秒，因此从远处震源而来的 P 波比 S 波将信息先送到地震观测站。据由远处地震而来的振动所经历的时间，并计算出它们的波阵面在地球内部所走的路径，地震工作者可以推出地震波在地球内各层传播的速度。例如 P 波在 3 100 千米深处速度达 13.7 千米/秒，在那里它们骤然变缓到它们在表面的速度。跟着它们再度变缓，向中心去的速度约 11 千米/秒。S 波的情况大约相似，只是它们不能到达地球的核心，在 2 900 千米的不连续（即结构突变）处完全反射。极近地心处还有一个不连续的区域。

这些观测结果表明地球内部有两个重要的情况：地球内部物质愈在深处，密度愈大（因地震波一般在愈深层传播愈快）；地核必然处于液态，至少为液体层所包围着（因 S 波不能在液体内传播）。地核可能全部是液体，但比外层的密度更大，因为 P 波在固体内比在密度相同的液体内运行更快。大多数地球物理学家同意这样的看法：地核是液体，至少是熔融的铁或铁-镍（像陨石那样）的化学结构。地心处的铁核被压缩到水的密度的 18

倍。地核的温度还不明白，据多数的估计在 2 000℃以上。

接近地面处的地震波（人造的或天然的）为我们提供关于岩石结构有益的（如对建筑、采矿、石油勘探等）信息。外层地壳是密度较小的火成岩（如花岗岩），下面是玄武岩，而沉积岩大多在表面最上两三千米处。顶层地壳，在大陆下面较厚，约 30～60 千米，因此大陆是处在均衡地“漂浮”状况下；反之，在海洋下面，地壳的厚度不过 5～8 千米。1909 年地震学家穆霍洛维奇发现外层地壳有一个地震波的不连续区，于是有人定出在大洋底地壳最薄处钻孔以达地幔的计划。对地震波的仔细分析可以得出从地心到地面的径向结构里的几个不连续层，其中一些的成因可能是由于分子结构的变化，而不一定是由于结构成分的突变。

上层地壳下面的缓慢环流，必然也可能出现于地幔与地核内。地质记录明白地表示由褶皱所造成的山脉与山脊。在整个的地质历史里，大陆在不断地生长，同时有证据说明海洋里的水量随时间增多而不是减少。地质各时期内造山率大有变化的这一事实，可以说明这种环流随时间做无规则的变化。

以下一节我们将比较详细地叙述近十几年内地质学、海洋学、古生物学、古地磁学等学科的工作者的观测，从而得到支持“大陆漂移说”的种种证据。

## ◀ 地壳结构的板块理论 ▶

远在公元前 600 年间便有人注意到高山顶上有一种石质的贝壳，很像现今还在海滨活着的文蛤，因此人们认为在以前某一个时期海水曾经覆盖现今的某些陆地。这种看法现在被认为是完全正确的。海洋与大陆两种地貌的位置曾经发生过改变。可是只在最近 20 年内，人们才对于这些变化与其形成的原因，得到比较深刻的了解。这一了解的基础建立在岩石的磁性与地震带分布的两个支柱上面。

地球具有单一磁场，磁针总指向地磁场的北极。由地面上各处磁针方向分布的图形，我们明了地磁的作用像一条巨大的磁棒。这一条假想的磁棒与地球的自转轴稍微有点儿倾斜。大家知道磁棒受热时失去磁性。但是地球内部的温度相当高，那里的物质不能形成固体的磁石，因而地球的磁场，现在认为是由地核内液体铁的流动而形成的。

岩石形成时按地磁场的方向而磁化，这意味着岩石内具有无数的细小磁棒。在它们形成的时候，这些小磁体按当时地磁场的方向排列整齐，然后凝固而冻结于岩石里面，换

句话说，即熔岩冷却后和它形成时的地磁场的方向是一致的。因此我们现今可以根据岩石的磁性，以测定当时地磁的方向。如果将这样测得的各时代的磁极方向绘在地图上，便可得到磁极方向随时代变化的一条曲线。令人奇怪的是，从亚、美、欧等洲所测得的这种磁极迁移曲线并不互相重合。如果地壳各部分没有发生水平向的移动，这些曲线是应当互相重合的。现在这些曲线并不互相重合，可见大陆曾经发生过水平向的移动，或者说这些岩石所在的大陆发生了漂移。

大陆漂移的思想可以上溯到16世纪(弗兰西斯·培根)。根据非洲西海岸和南美洲东海岸形状相似到足以嵌合起来的现象，地球物理学家魏格纳于1912年提出了“大陆漂移”的假说。还有其他证据支持这个假说，如南非洲有冰川沉积的存在，表明它以前不在现今的地理位置上。珊瑚礁的地理位置，也表现由于大陆漂移所造成的地球上气候的主要变化。原来珊瑚虫生长于清净温暖的海水里，但有些珊瑚化石却出现在很冷的海水内，例如南极洲的珊瑚化石，表明那里从前的气候比现今温暖得多。还有在不同的大陆上发现某些相同的生物化石，也说明这些大陆从前是连接一起的或者至少是很接近的。因此，不少人努力想把原始的陆地团块结合起来。虽然大陆漂移理论拥有了相当有力的证据，但我们还应该探求促使大陆漂移的动力是从哪里来的。显然，要使形成大陆的巨大团块移动，必须有难于想象的巨大动力。

很久以来，人们便认为多数重要地质现象发生在大陆与大陆架上，而且它们只覆盖了薄薄一层沉淀的海底盆地，这可能是地壳的最古老的部分。可是近些年来海洋学上的各种观测(例如根据海底盆地上岩石样品的放射性对它们年龄的测定)深刻地改变了这个图案，从而使地质学工作者断定海底的大量岩石是缓慢地从地幔〔地幔亦称“中间层”，即岩石圈与地核中间的一圈，厚度约1700千米〕沿海下山脉(海脊)突出，并向旁侧扩展，以形成新地壳，这新地壳向大陆前进的速度每年只有几厘米。现在认为这种海底盆地扩展的现象，便是造成大陆漂移的原因，而构成大陆地壳的物质团块(板块)便浮在地幔内较重的岩浆上，缓慢地移动。这些板块不但在地球表面沿水平向而且还沿垂直向移动。地球上某些地区，例如斯堪的那维亚，从前为冰川覆盖的大片地区现在正缓慢地升高。同时由于大片冰层的消逝，这些地区才得到地壳均衡的调整。

海床扩展必然是由于地幔内的岩石流的活动。地震波的研究表明构成地幔的物质类似固体，我们一向将这种固体岩石当做刚体〔在外界作用下，体积和形状都不发生改变的物体，叫做刚体。这是一个抽象概念，实际上物体都不是真正的刚体〕，它在外力的作用下容易破裂，而不容易弯

曲。但是在相当大的重力或压力的影响下,岩石会逐渐屈服,于是地幔内的岩石在重力的作用下,具有相当的可塑性。地幔内岩石流的作用为造山运动提供一个自然的机制。地幔流的会合或下沉之处可以堆积成山脊。大陆板块发生碰撞时,由于物质的挤压,也会造成高山峻岭。例如喜马拉雅山便是由于印度洋板块沉没在亚欧大陆板块之下时,按这种方式形成的。造山运动的褶皱虽对地壳深层有作用,但在地球表面所造成的结果,却形成了巍峨雄壮的高山。

地震与火山常发生于相同的地区,对于形成地壳的动力与运动,提供戏剧性的证据。这些地区的表面出现断层线,即断层面与地面的交线。例如最著名的一个断层是掠旧金山而过的圣安得累亚断层。当岩石变形超过其强度时,便发生地震。于是地壳破裂,板块移动,断层面变形,而当变形强度减少到岩石能够支持的程度,这种变形运动便停止。沿阿拉斯加的阿留申群岛远至其北方地区的断层面的分界处分布着许多火山,同样,沿地壳裂罅处的火山蜿蜒如带,而形成火山的环状山脉分布于太平洋东西两岸。

火山运动也是造山与改变地貌的一种机制。例如 1943 年爆发的帕里库廷火山。它的喷出物在火山口附近堆成火山碎屑和熔岩结构的锥状山坡。岩浆起源于地面下的局部区域,至于在什么深度处和怎样生成的,目前还不能确定。

最后还有一个改变地貌的重要因素:冰川。这是大团冰块在地壳上所起的作用的表现。在最近一次冰川期,冰川覆盖欧洲大部分地区和北美洲东部。最后一次冰河退走的时期大约开始于两万年前,而终止于 6 000 年前。冰川流动相当缓慢,每年前进约 50 米。大团冰块流动时剥蚀地面造成山谷、冰碛与地表上的其他特征形状。现在主要的冰川在南极洲与格陵兰岛和一些高山峻岭上面,如喜马拉雅山与阿尔卑斯山中还有冰川。冰川是巨大的蓄水库,它的盛衰兴废使海平面与海岸线的位置发生戏剧性的改变。我们现在处于冰川相当稀少的时期,可是假使现在剩余的冰川与冰块融化,整个地球的海平面也将升高 50 米,大部分港口和沿海城市将会被淹没。

虽然地质学工作者与气象学工作者对于冰期的成因还没有一致的意见,大家却认为只需地面的平均温度发生少许改变,便会出现一个冰期。前一次冰期时的地面的平均温度只比现在低 5.5℃。值得注意的是自 1850 年(大约是工业革命开始之时)以来的 100 年间,地面平均温度大约高了 0.6℃或 1.2℃。由人们活动所造成的废气(主要是二氧化碳),可能是平均温度增高的原因(温室效应)〔温室效应指大气中水汽、云层等的保暖作用。云层因善于吸收热量,再向地面反射,犹如温室(花房)的保暖效应,因此叫做温室效应〕。如果这是事实,大

气里的污染继续增加，可能促进冰川与冰块的融化，从而使海平面增高，但是被工业和农业释放在大气里的尘埃可能对这些废气所产生的效应起抵消作用。浮在大气中的尘埃粒子可能反射少许日光于空间，因而稍微减少使地面温暖的太阳能量。事实上，地面的平均温度，由于尘埃的反光效应，近年来已有开始下降的趋势。由此可见大气里太多尘埃又可能造成另外一个冰期。

# 第二章

# 地球大气的演化史

我们呼吸的空气是从哪里来的？现在已经根据天文、地质与生物三门学科的研究得到一个令人惊异的答案。我们认为构成地球的气体（和少许尘埃）起初的质量比地球上现有的质量要多得多。这一大团原始行星的气体物质被其本身的摄引力所维系住。那么，它怎样演变呢？

较重的元素或化合物向内部下沉，轻的原子才会由于蒸发的缘故而逃逸于空间。地面附近的空气分子常处在运动的状态下，其平均速度随其所受的温度而不同。但是在地面附近密度较高（即单位体积内的分子数较多）的情况下，空气的粒子只走过一段很短的距离，便和别的粒子碰撞。假使我们将碰撞间的距离（叫做平均自由程）表示为大气高度的函数，我们便会发现在愈高层的大气里气体粒子的平均自由程愈长。在大约 500 千米或更高处，空气分子的密度低到足以使向上运动的原子或分子可能运动一段相当长的距离，而不和别的粒子发生碰撞。那么，如果速度大到某一程度时，原子便可能脱离地心引力的羁绊，而进入围绕太阳运动的轨道之中。太阳系里天然的或人造的天体所以在各自的轨道上运行，主要是由于其运动而来的离心力与主星对于它的引力取得平衡的缘故。因此运动在距离地面 500 千米或更高处的一个粒子，可能发生三种不同的情况：(1) 运动比较缓慢的粒子的离心力不足以克服它所受到的重力，因此像向上抛的石头一样，终于坠落地面；(2) 具有中等速度的粒子，可能在一定轨道上围绕地球运行，但这种轨道一般会使这粒子返回大气；(3) 只有运动相当快的粒子才能得到相当大的离心力，足以胜过地球的引力，于是这粒子才会飞向空间，不再返回大气层。一个粒子向上运动的速度必须达到逃逸（或脱离）速度，即大约每秒 11 千米时，它才离开地球。逃逸速度与物体的质量无关，对于空气粒子与对于人造卫星，脱离速度都是一样。

由此可见，原始地球外层大气里的原子可以由蒸发而逃逸到空间去。大气的温度愈

高，气体分子的运动愈快，因而超过逃逸速度的粒子愈多。在一定气体团内，质量较小的分子比质量较大的分子运动速度要快。由计算得知由于蒸发，地球很可能已经失掉它原有的氢（因为氢是最轻的元素），也许还失掉次轻的氦。（这种天文上的蒸发和水在地面的蒸发相同，不过在后一情形，水分子只从水团逃逸到大气层罢了。）

由此可见太阳系里的主要成分（氢与氦），也许由于蒸发而很早就脱离地球。原始大气很可能从水星、金星与火星分离出去，特别是其中的氢和氦。原始的地类行星里的较重粒子、尘埃与固体颗粒，可能在其自身的引力与化学作用下，凝固而形成这些行星的固体成分。反之如木星与土星那样的大型行星，引力就大得多（因而那些行星上的大气的逃逸速度也大得多），再加上更冷的大气（因为它们距离太阳较远），所以它们可能保留着大部分原始大气，这样便容易说明为什么木类行星的组织成分类似太阳。

假使以上对于蒸发的讨论是唯一的因素，则地球与地类行星的大气应该十分相似。可是事实并不是这样的。地球大气组织成分如下：

**表1　海平面上空气的组成成分**

| 气体 | 以质量计的百分数(%) |
|---|---|
| 氮($N_2$) | 75.5 |
| 氧($O_2$) | 23.2 |
| 氩(Ar) | 1.25 |
| 二氧化碳($CO_2$) | 0.05 |

上表内未列入与天气和气候极有关系的一个重要成分，即水蒸气($H_2O$)。随情况变化，海平面处的空气含量以质量计，可能高达2%。二氧化碳（碳气）的含量也是变化的。其他成分，如自然界的和工业生产所发出的气体，空气中也有少许含量。

正如以上讨论蒸发时所料到的，地球大气的成分完全不像太阳与木类行星，而且也不像火星与金星的大气。由不载人的宇宙飞船到达这两颗行星附近所探测到的数据，得知那里大气的主要成分是碳气，纵然有点氧气，分量也很微薄。事实上现今海洋里的水和地上的大气，大部分是从地壳产生出来的，我们将于下一章之内详细讨论。地面的气体可能主要从火山发出，而且有证据表明过去的火山比现今多。勇敢的地质工作者曾经在火山口测量喷出的气体，测定其主要成分有水汽($H_2O$)、碳气($CO_2$)、氮气($N_2$)与二氧化硫($SO_2$)。火山喷出的微量二氧化硫，很快便与岩石结合，我们大气中的氧差不多全由植物的光合作用（参看下一章）而来。氧气的来源必须是不竭的，假使地面的氧忽然停止供给，则现时大气里的氧至多在几万年内即为岩石风化时的氧化作用所耗尽，而且动物的呼吸与燃烧均需用氧。

在造成我们大气的火山运动过程中产生的碳气比现在大气中的含量还多，但大气里的碳气为以下几个变化所转移：(1) 绿色植物的光合作用；(2) 岩石风化中的化学反应；(3) 海水的吸收。岩石风化是最重要的转移过程。氧气与碳气均可溶于海水，因而使动物与植物得以生活于海洋里。事实上海洋是碳气的巨大储蓄库，其中所含之量约是大气的所含之量的 60 倍。海洋协助大气保持碳气含量的稳定，因为大气里碳气的浓度增大时，海洋便迅速地吸收了下去。

动物呼吸与燃烧造成碳气。在正常情况下，大气、生物与化学等等的各种变化都处在平衡状态里。但是如果人造的碳气连续不断地大量增多，即使海洋也不能完全吸收掉。

总之，我们大气的历史开始于主要是类似于太阳物质所构成的原始地球。重的物质向下沉，轻的原子从原行星逃逸到空间。大约在 45 亿($4.5\times10^9$)年前，地球已经达到现今的质量与成分。地壳形成于 40 亿年前。那时大部分原始大气早已蒸发，再生大气可能产生于 35 亿年前。原始大气里的氢气已经以化合物(如水、硫化氢、氨与甲烷等)的形式储藏于地壳内。由于散发的作用，这些氢化物又散发到大气里去，那时海洋已经发展到现今的体积，于是，这时或稍后形成了再生大气。这些氢化物与水的组成成分，为生命起源所需要的原始的“天然培养液”提供原料。从 20 亿年前开始，大量的氧气已由植物所制成。大约在 10 亿年前大气里的氧才增加到现今的分量。我们所认识的大气便从那个时期开始。应该记住的是，距今 10 亿年以前的地质时期，是还没有可靠的化石记录与绝对地质年龄测定的时代。更早的地层分层与其年龄的科学测定，无疑会对我们了解生物、大气与地壳的演化的基本情况有所助益。

## ◀ 现今大气的特征 ▶

关于现今地球大气的组成成分，见前文表 1 即可。太阳辐射间接影响大气的体积。阳光照射地面，那里的空气因热上升，再由对流作用而使大气变暖，大气里的某些部分，例如距离地面 160 千米高处的电离层，由于吸收太阳的辐射能量而直接变热。大气压随高度的增长而减少，表示于表 2 内，那里并载有各高度处的温度。表中的数值是平均值，因而与实际情形有或多或少的出入。大气在距地低处便造成所谓“天气”现象，而距地高处的大气性质为火箭与人造地球卫星的观测所测定。

**表 2　地球大气的模型**

| 海拔(千米) | 附注 | 气压(地面值的百分数) | 平均温度(K) |
|---|---|---|---|
| 0 | 海面 | 100 | 280 |
| 1.5 | 云贵高原 | 85 | 273 |
| | | 70 | 266 |
| 6 | 高山顶上 | 50 | 255 |
| 10 | 喷气机飞行高度 | 30 | 238 |
| 16 | | 10 | 210 |
| 30 | 臭氧层 | 1 | 250 |
| 50 | | 0.1 | 290 |
| 80 | 极光与流星 | $10^{-3}$ | 170 |
| 160 | 电离层 | $10^{-6}$ | 600 |
| 180 | 大气蒸发区 | $10^{-13}$ | 1 200 |

〔K 表示绝对温标，以摄氏温标的零下 273°为零点〕

臭氧($O_3$)层在 30 千米高处。这一层内的臭氧分子很能吸收比 3 000 埃〔埃是计量微小长度用的单位，为厘米的亿分之一(符号为 Å)，常用以表示光波的波长〕短的太阳的紫外辐射。3 000 埃附近的辐射只有 7%通过臭氧层，在这波长范围内的吸收高峰处(2 600 埃)，只有入射日光的 $10^{-32}$穿过臭氧层。达到地面的微量紫外辐射使皮肤烧灼，变为黄褐色的晒斑。假使没有臭氧层，达到地面的辐射强度可能破坏细胞，使生物不能存活。反之，在地球早期历史里，臭氧层还没有在大气里形成屏障之时，紫外辐射作为原始"天然培养液"里的某种化学反应，可能是能量的一种重要来源。

太阳辐射为臭氧所吸收的能量是 30 千米高处大气里的一种能源，因而使 30～50 千米高处的温度高达 290 K(即 17℃)(见表 2)。同样，由于大气成分为太阳辐射所电离，100 千米高处的气温亦大大增高，达 600 K(即 327℃)。大气的这一层叫做电离层，虽然这一层内大多数原子与分子是中性的，但却含有不少的自由电子与离子。电离层分为几层，能够反射几米至十几米波段的射电波。电离层与地面间的多次反射可以使射电波所带的信息传播到整个地球。电离层的主要一层叫做 D 层(90 千米高处)，还有 E 层(110 千米高处)与 F 层(200～300 千米高处)。D 层的电子密度(即每毫升内的电子数)最小，因而中性气体分子的密度最大。这一种结构使 D 层对于电波的反射弱而吸收强。日落后，D 层内的电子与离子重新结合以成中性原子与分子，但较高的电离层里这种重新结合相对较缓。因此，夜里 D 层消逝，电波在 D 层原来的区域由反射而传播最为有效。因为电离层为 X 射线与紫外辐射所构成，太阳耀斑和由其他日面活动而来的辐射强度增大时，可以在电离层里造成暂时的扰乱，因而影响电波的通信。

根据我们对于天气与四季的经验,知道大气不处在稳定或均匀的状态里。大气为太阳所致热与地球自转两者组合,造成一种大型环流的现象。海员根据航行的经验可以认识这种环流的许多表现。有名而相当稳定的贸易风(信风)便是这种大规模的大气环流的一种表现。这是由于副热带纬度区(30°～50°)的阳光照射和不定风向所造成的结果,也是地面大型环流的一个例子。这种普遍的大气环流亦在海洋表面造成大规模的洋流。

环流的性质随不同的高度而有差异。最熟悉的一个例子是高空的急流,即 10.5 千米高处自西向东的一种气流。急流的风速可达每小时 320 千米。因此由东向西比由西向东飞越大陆所需的时间更长,飞航的时间表内的时间差便表现出这个事实。因此驾驶员驾驶飞机向西飞时常选择飞行的高度,以避免这股强劲的急流,而向东飞时便利用这股急流。

大气除了对气压、温度与环流的变化以外,对于水在海洋与大陆之间的转移运动亦起重要作用。这便是水的循环。水在海、陆、空三界中的循环运动,其中的一个主要阶段是由海洋蒸发进入大气。这些水蒸气在云里凝结,为风所移动,以雨和雪的形态而降落于大陆,但终于由江河而流入海洋,以完成其循环。地上的水不断在一种闭合循环上完成其运动。在这种循环的某些阶段里,混在水里的某些物质只起堆积作用而不参与循环,例如水里的矿物质为江河携带入海,不断增加海水所含的盐分。

云彩造成美丽的夕阳,但大气的某些特征,即使没有云,亦可在红色的落日和蓝色的天穹上展现绚丽的美景。太阳西下时其颜色由橙而逐渐转红。这种大气现象是由分子所造成的效应。如果这些分子的直径比光波的波长短得多时,日光便遭遇所谓瑞利〔瑞利(John william Rayleigh,1842—1919),英国物理学家。瑞利散射是光通过媒质时被小于其波长的微粒所散射的现象〕散射的过程。所谓散射是指光束在媒质中传播时,部分光线偏离原方向而分散传播,但其波长不变的现象。由于蓝光比红光散射较强,因而红光能透过更高层的大气。夕阳西下时,日光到达肉眼,经过的大气不断地增多,因此我们看见一个红色的太阳。蓝光向各方散射,从而使天穹呈现蓝色。但在大气外飞行的宇航员眼里,天穹却是黑的。

光线在大气里的穿透度随波长不同而不同的效果表现在同一风景以短波紫光和长波红外光拍摄的照片上。大气里长波穿过之处短波已经遭到散射。

大气是一个屏障,它不但防御紫外辐射,且为我们挡住了流星,这些"渺小"的天体在大气里 100 千米高处绝大多数因受大气摩擦而焚毁为灰烬。大气也阻挡某些宇宙线,这

一效应与地磁场都使运行缓慢的宇宙线发生偏离，因而使生物演化的突变率降低到一个合理的程度，生物学家认为突变率过高是不相宜的。

大气层以外还有所谓磁球，这是电子与阳离子被地磁场捕获的区域，是由第一批人造地球卫星所发现的。至于地球以外其他几个行星的大气，将在谈到各行星的篇幅之内分别叙述。

# 第三章

# 生命的起源与演化

## 生命的生物化学演化论

上面讲过，根据对放射性元素的计算，地球的年龄约为46亿至47亿年。但根据地质学的研究，只在20亿至25亿年前才有生物出现在地球上，所以地球上没有生命的年月占去其一半的时间。在那大约30亿年生物还没有出现的岁月里，地球的原始海洋和那时可能有氨、甲烷（沼气）、硫化氢、水汽等组成的大气，自然会有化学反应发生。碳主要存在于碳水化合物里，这样就大大增加了化学反应的可能性，因为它们是整个有机化学的基本结构。由于电离辐射或放电作用，这些气体的混合物可能形成氨基酸〔氨基酸是含有氨基的有机酸，而氨基是由氨分子失去一个氢原子而成的原子团，以—$NH_2$表示〕，而氨基酸是蛋白质的基本成分。在原始地球上，这些有机化合物像雨点般倾注到原始的海洋里去，形成一种稀释液汁，并可能互相结合形成凝块，自成体系为"凝聚点滴"。

大约20亿年前，由于这以前漫长年代的演变，这些凝聚物经过自然淘汰产生一种特性：即在基本分子的阶段里出现"自我复制"。这一阶段以后，演化速度增加，便出现光合作用（使有机体能够制造自己所需的食物）、原始的细胞组织（如现今的细菌、藻类与阿米巴）、原始的多细胞机体（使机体各部分的分工成为可能）等演化道路上的重要过程。接着地球上便会出现高级生物，经过漫长时期的天然淘汰，而终于演化成为"智人"。

以上是有关生物与演化的一些事后猜度，现在便谈谈现今科学家对于这个问题所做过的一些模拟实验。

构成生物组织的细胞有三种主要物质：碳水化合物、脂肪核酸与蛋白质。现今对于生命起源的研究便是决定这些物质是怎样来的。实验模拟可能存在于地球早期的情况以及

寻求怎样从那样的环境里制造这三种物质里的基本成分。

这些实验的根据是从几种相关科学得来的事实及其推导。例如由化学知道蛋白质不能形成于氧气太多的环境里，虽然现今大气里有相当多的氧。反之，在其他行星上我们没有发现大量的氧，而且太阳系里行星的大气各有不同的成分。天文学工作者认为太阳和它的行星形成于同一团气体和尘埃云里，因而所有的行星可能都有很类似的原始大气。可是它们现时的大气却很不相同，可见至少其中一些发生了变化。地质学与生物学均提供地球大气演化的证据。现今地上的氧大部分是生物出现后由植物的光合作用而释放出来的。现时大气里的其他气体与水分大部分可能是由于火山活动，从地球内部喷射出来的。

围绕早期地球的混合气体叫做原始大气，以区别于现今的再生大气。根据理论的研究，原始大气的主要成分是甲烷、氨、氢与水汽。现今大型的木类行星上便是这些气体的混合结构，因此我们相信过去的地球上也有这样的大气。

作为地壳的材料里并没有蛋白质，它是有生命的机体所构成的自然界里最复杂的有机物质。蛋白质在一切有机体的生命过程里起着主要作用。例如调整我们身体内多种化学反应的酶〔酶也叫"酵素"，是生物体产生的具有催化能力的蛋白质〕，便是各种蛋白质的合成物，因此对生命起源的寻找应从非生物的或与生命过程无关的变化中去研究蛋白质的形成。

生物机体内的蛋白质大约是由 20 多种原始氨基酸组成的。现在研究生命起源的实验室里还不能制造一般的蛋白质，只合成了化学结构已经完全清楚的个别蛋白质，如胰岛素和许多原始的氨基酸。实验的类型虽有差异，但基本方法却相似，即将模拟原始大气的混合气体暴露在电火花、热量、紫外辐射或原子粒束里〔氨基酸：含有氨基($NH_2$)的有机酸，是组成蛋白质的基本单位。1952 年青年化学家米勒(L. Miller)将电极放在一个大玻璃球内，使它们放出火花，以模拟太阳光里的紫外辐射，同时将氨($NH_3$)、二氧化碳($CO_2$)与甲烷($CH_4$)的混合物及水汽($H_2O$)不断在火花之间通过。一星期后，他分析玻璃球里的水发现有氨基酸〕。这些流量便使混合气体发生改变，这些经过变化的物质，再经过分析，才知道它们已经组成氨基酸、核酸与其他生物的组织成分。现今的实验仅是一个开端，要了解生命起源的过程，还需做许多更深入的实验。

总之，如果出现天文学工作者与地质学工作者所认为的存在于早期地球上的大气环境，生命自然会经过一系列化学变化而出现。生物出现以后，自然选择的演化必然接着而来。最早的化石经人验证认为是细菌与藻类的遗迹，其年龄约为 34 亿年。生物起源的重要阶段，根据现今的研究，可以粗略表示如下：

| 时间 | 事件 |
|---|---|
| 46 亿年前 | 地球形成 |
| 42 亿年前 | 初次出现自我复制品，根据自然选择的进化开始 |
| 34 亿年前 | 细菌与藻类出现 |
| 21 亿年前 | 多细胞生物出现 |

以后讨论陨星和星际介质时，我们在那里都曾发现有氨基酸，可见生物可以居住的世界不仅在地球上。因此"有生命的世界极多"的看法，由于有天文观测的根据，应当认为是合理的见解。

## ◀ 演化的洪流 ▶

从单细胞到多细胞，初期的演化阶段发生在海里，接着才出现了多细胞之间的分工。这种演化的进展，根据获得食物的方式的不同，因而生物的形态也发生了变化。机体的生长有赖于营养的供给，可是由天然化学合成的给养既有限而又不可靠。于是出现一种经常而可靠的食物，这是由植物所提供的，其中起主要作用的是一种结构复杂名叫叶绿素的大分子。这些分子在合成碳水化合物的化学变化中起催化作用，它们吸收太阳光的能量，同化二氧化碳和水，制造有机物质而释放氧气，这种过程叫做光合作用，其化学反应式为：

$$\underset{(\text{二氧化碳})}{6CO_2} + \underset{(\text{水})}{6H_2O} \xrightarrow[\text{绿色植物}]{\text{日光}} \underset{(\text{糖})}{C_6H_{12}O_6} + \underset{(\text{氧})}{6O_2}\uparrow$$

现今大气里的氧差不多全部都是由光合作用所造成的。

植物为动物提供基本食物，只有植物才是基本的生产者，因为只有它们才能将无机物转化成有生命的有机物。动物需要植物的机体和别的动物的肉体来作为生长和生存的营养剂，因而动物是消费者，由此可见只有在植物发展后，才能出现动物。

我们所拥有的演化知识的根据在于化石的记录。读者可由地质年代表看到一点概况。多细胞生物开始出现于海洋里，可能与现今的浮游植物相似。浮游植物是海洋里的小动物（如原生动物）的基本食物。这些微型植物是地上食物与氧气的最主要的来源。

演化的主要过程概略地表示为以下几个主要的发展阶段。30 亿年前的太古代，除了一些低级的藻类之外，很少有化石记录。大约在 10 亿年前（元古代），动物才发展出相当复杂的形态，例如蠕虫和它们在沙上爬行所留下的遗迹化石。这一阶段出现的最早而且最多的一种化石，是生长在海里的一种无脊椎化石：三叶虫。石炭纪（3.55 亿年至 2.9 亿年前）内，石松、芦木一类植物森林般地繁殖于潮湿地带。这是一个主要的造煤时代，现今

所用的“化石燃料”便是那时的产品。

中生代三叠纪(2.5 亿年至 2.05 亿年前)爬行动物(恐龙)异常发展,海中有蛇颈龙,陆上有蜥龙,空中有鸟龙。这些庞大无比的动物,在地上称霸达 1 亿年之久,至中生代末期始全部灭绝。动物演化的一个著名例子是马在 0.5 亿年来的发展史。在始新世(0.53 亿年至 0.365 亿年前)这种动物的形状像狗,而现今的马体形较大,跑跳较快,牙齿可以啮吃各种食物,而且比它们的祖先机敏。

新生代第四纪开始于 250 万年前,包括更新世与全新世,广泛地发生了多次冰川,出现了与现代人类有亲缘关系的人类祖先(如中国猿人)。第四纪里的生物化石多像现今的动物与植物。

## ◀人的演化▶

前面一节讨论了生物在地质时期大尺度上的演化,人的演化亦可做类似的研究。

由化石学与人类学的研究,得知人类于 400 万年至 300 万年前出现于非洲。他们是由哺乳纲里最高的一类动物(灵长目)由狐猿与类人猿等经过一系列的演化而转变来的。他们的特点是有完全直立的姿势、复杂而有音节的语言、解放了的双手和特别发达善于思维的大脑,并有制造工具、改造自然、掌握和运用社会生活规律的本领。人类是借着劳动摆脱了动物界的生物,恩格斯说:“劳动创造了人类本身。”所以说人类是劳动的产物。

人类演化的历程,最显著地表现在脑的容量上。化石类人猿(如南方古猿,生活于 400 万年至 300 万年前)的脑容量为 510 毫升,直立人(150 万前年)为 975 毫升,尼安德特人(11 万至 3.5 万年前)为 1 420 毫升,这已经可以和现代人的脑容量相比了,但黑猩猩的脑容量只有 395 毫升。

灵长目的最早标本里有列在古猿类的东非的普罗猿(Proconsul,约 2 500 万年前),可能是黑猩猩与大猩猩的祖先。人类最早的直接祖先是腊玛古猿(Ramapithecus,1 300 万年前)。可是人不是猿的直接后裔,人和猿只有一个共同的远祖,而彼此是“堂弟兄”。

化石类人猿出现于 400 万年前,演化为更进步的形态,而繁荣于 150 万年至 100 万年前之间,约在 90 万年前他们才进化为直立人。直立人在 50 万年至 25 万年前进化为古智人。以上这些结论是根据非洲出土的大量化石综合而来的。

人类起源于非洲,这已经得到广泛的承认。现代人是经过几百万年的演化而来的结果。发展的途径是从食果的树居人演化到食兽的穴居人。人类曾经过食果的时期表现在

牙齿上，因为我们的牙齿与纯粹食肉兽的牙齿不同。石器工具的使用相当早，增进了人类狩猎和其他劳动的本领。这些不易损坏的工具，表现了人类早期的生活方式。最后，社会组织的功效使得人类能捕猎到比他们强大的古代巨象。

我们直接的祖先遭遇到很复杂的气候变化。更新世是地上气温发生剧烈改变的时代，其间出现了几个冰期。这真是一个考验人类的时期。现代人所以具有大而复杂的脑子、使用工具并有形成和交流抽象思想的能力，以及适应新环境的本领（从动物的角度看，这叫做“非专门化的专家们”或“一专多能”），在某种程度上是因为人是时间积累的产品。即使今天，人在最不幸的环境里还能表现其最高的品质。尼安德特人繁荣于 11 万年至 3.5 万年前。他们之后才出现克罗马农人。

克罗马农人与其相关的种属广泛分布于地上，并得到迅速的发展。他们从狩猎而到种植与畜牧的社会，并发现而且使用金属，从而推进了文明发展。克罗马农人有闲暇从事艺术活动〔如法国拉斯科(Lascaux)洞穴里的史前壁画〕，并对死者举行埋葬仪式。由于生产的发展使人类企图了解他在万物中的地位，大约在这时期或更早期出现了魔术与宗教。在这进程中发展了语言，于是知识从一代传授给下一代，显然这是一个很大的进步。

人们对于天文学的兴趣开始于什么时候〔参看 1963 年 7 月出版的《天文爱好者》杂志中的《史前的天文遗迹》一文〕？无疑，在很早的时期里，人类已经认识太阳、月亮与昼夜的循环对于生活的重要性。有史以前人们便对世界的性质与万物的本源进行猜想。由于太阳对于地上生物与生产活动的重要作用，在早期的神话与宗教里都把它当做神灵来崇拜。对公元前两三千年间楔形文字与殷代甲骨文的辨认，使我们得知古巴比伦与中国对于天象已掌握大量的知识，而且那时这两个文明古国的天文学工作者已经开始观测月相以便建立并调整或修改他们的历法。我们可以合理地认为天文学是一门最古老的科学。异常的天象如日食、月食与彗星的出现已早记载于上面所说这两国的古代文字里了。即使没有文字之时，原始人也已将他们的天文观测雕刻在岩石上面。

人类的发展没有停止之时，也不会结束于不远的将来。文化演变的近代历程还有 1770 年至 1870 年的工业革命，以及 1945 年与 1975 以来的原子能与星际航空时代。现今科学与技术正在飞跃地发展，人们正在企图按照他们的意愿改造自然。

可是，要在地球上建立美好的人类家园，必须牵涉不在本书讨论范围内的许多社会问题与政治问题，但就过去以推未来，文化是发展的，人类是前进的。

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。……人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

# 第四章

# 水星的自转及其表面观测

## ◀ 水星的自转 ▶

行星的固体表面的详细情况，只有水星与火星才观测得到。由于冥王星太远，其他行星被覆盖着云层，所以它们的表面都不容易观测。19 世纪意大利天文学家斯基帕雷利曾测定水星的自转周期，描绘水星表面的斑纹，而且将不同时期的图画加以比较，认为水星的自转周期与公转周期同为 88 日。这意味着水星常以相同的半球对着太阳，正如月球常以相同的半球对着地球一样。雷达天文学出现以后，为测量水星自转提供一种现代技术。射电天文工作者只能被动地接收由宇宙空间而来的射电波，但雷达天文工作者却可以在地面向他们欲研究的天体发射性质已知的射电脉冲波束，并记录由目标反射回来的射电波，然后将发射的与接收的两种信号加以比较，便可得到有关目标（天体）的某些知识。譬如根据向目标去而复返的脉冲波在途中经历的时间，便可测定目标的距离。又如从这些波束的波长所受到的多普勒位移，便可知道目标与地球的相对速度，即彼此是在离开或接近的速度，还可据脉冲波的多普勒扩展，以求目标的自转速度。现在解说一下什么是多普勒扩展。雷达发射器所产生的原信号集中在很窄的波段内，像一束可见光那样。这束脉冲波为行星所反射时，因受到多普勒位移而改变其波长，其位移度决定于地球和这颗行星之间的接近或离开方向上的相对速度。但是由于行星的自转，其一边缘向地球接近时，则其对径相反的另一边缘必然离地球而去。从接近的一边缘返回的波，因受多普勒效应移向较短的波一边，而从离开的一边缘返回的波便移向较长的波一边。当雷达天文工作者记录回波之时，他便会发现行星的自转使反射回来的波扩展到一个较宽的波段内，因而行星的自转速度可从多普勒扩展的量度来决定。测量的细节比这里所说的更加复杂。观测

行星在轨道上运行一段时间，雷达天文工作者能够测定的，不仅是行星的自转速度，而且还有自转轴的指向与自转的方向。譬如假使火星上的雷达天文工作者观测地球时，他可能发现地轴指向北极星，而且地球自转的方向从北极星看是逆时针方向（这些说法是用地球上的语言来表达的）。

总之，据雷达天文学的观测的确能够对行星自转作出精密的测定，因而才知道从前由绘图法所推出的关于水星自转的结论是错误的。水星的自转周期不是 87.97 日，而是 58.65 日。事实上，水星绕太阳公转 2 周时，它自转了 3 周。水星的某一直径在过近日点时常指着太阳，可是这直径的另一端过近日点时便代替前一端，即两端交替地指向太阳。对这种现象的合理解释认为，水星不是一个正球形，而是（水星像月球，亦有三个不等长之轴的椭球）一个椭长的球，过近日点时指向太阳的轴是其最长的轴。

根据这个理论，太阳对于水星近日的半球的引力比远日的半球的引力稍强，由于这个缘故便控制了这种校直（alignement）现象，从而可以得到自转周期的确切数值。假使水星的自转速度比公转速度的 1.5 倍还稍快（或稍慢）一点，过近日点时它的长轴便不会正指太阳，于是引力作用便使自转变慢（或变快）。水星轨道的偏心率大，也对此起了作用，因为在近日点附近比在其他向径处引力作用强。假使水星轨道是正圆形，它的轴将不断地指着太阳，于是自转周期必然等于公转周期。

1965 年射电天文工作者使用波多黎各岛上阿尔西波天文台的 1 000 英尺口径的铝制射电望远镜，首次求得水星的自转周期约等于其公转的恒星周期的 2/3。其实这个结果是可以根据天体力学推导出来的。由于水星轨道偏心率大到 0.206，当其达到近日点附近时，原来的自转周期受到太阳的引潮力的极大钔制（因为引潮力是与太阳和行星间的距离的立方成反比例的）。于是算出水星每次过近日点时太阳的引潮力使水星运行的角速度，和由开普勒面积定律所算出的角速度超过其平均值之量，两者之比恰好是 3∶2。因此水星自转周期被固定为其公转周期的 2/3。于是水星自转的恒星周期应是 $87.97\times\frac{2}{3}=58.65$ 日。

由此可见，水星的一日时间（由日出到日出）很长，就平均值而言，那里的一日恰好等于两年（即 176 个地球日）！在水星上某些经度和极区处太阳的视运动显得异常复杂。

重新检查以前的观测，方才明白前人根据水星表面的斑纹绘出的水星图，是在 87.98 日和 58.65 日的倍数的时间内做成的，因而可以适合于这两个周期的任何一个。但若以正确的周期去解释昔日的观测数据与根据目视或照相作出的图画，便出现豁然开朗的情

况。巴黎天文台两位研究人员重新整理该台累积的大量水星照片与观测，得出其自转周期的确是 58.646±0.010 日。

## ◀ 水星表面的地面观测 ▶

即使使用大望远镜观测水星所能看到的细节，也并不会超过肉眼去看月面的情况。水星在大距时，我们看到它表面的细节，只有 0″.2 至 0″.3 或 150 千米至 200 千米的范围。如果水星表面有高山，便不会被人觉察得到。因此，它的表面结构的情况只能根据它反射日光的性质间接地推导出来。光度测量反映水星反射日光的强度的变化，与月光相同，在上合附近（即满相时）为最大。

水星对着太阳的半球中部的温度高，曾经有几位天文工作者用口径 2.5 米大型望远镜聚焦在一对温差电偶上，将从水星接收到的辐射变为极微弱的电流，从而使电流计的指针偏转。温差电偶所产生的电流愈强，行星愈热，它所发的红外光愈多。水星在近日点时，被照明的半球上，太阳在天顶的地方，温度高达 610 K（337℃），这是可以熔化锡和铅的温度。反之，和这地方对径相反的地点上，黑夜却是异常寒冷，可以冷至 150 K（－123℃）。由于水星上连续两个中午之间经历 176 日之久，因而在其自转周期里各处都受到日光长时间的照射，可见水星表面的物质不能保存热量，即热量不能传导到其表面下的深层处，因为它像月球表面那样，物质的导热率很低。

由于水星被太阳照亮的部分温度高，而且它表面上的脱离速度低，因而它不能维持住水汽。水星缺少大气，还可由它的反照率特别低（6％）而得到证实。和月面一样，反照率低是固体表面的特征，只有富有大气的行星反射日光的能力才强。再由水星上没有曙暮辉区，亦可说明它缺少大气，原来曙暮辉是由大气散射日光到黑夜区里而形成的。再从水星的反射光谱分析，亦证实水星上没有水汽。可是有些目视观测者，如安东尼亚迪与斯基帕雷利在水星面上却看出有隐现无常的斑痕，因而他们认为水星面上可能有一层稀薄的大气。法国天文学家多尔菲斯曾经对水星表面的反射光做了偏振测量，也认为那里可能有稀薄的大气存在。以上曾经讲过，我们怎样利用滤光器（或偏振片）和检偏振器去检查由太阳发射或由行星反射的光波的偏振度。分子（如地球大气里的分子）散射的光线是高度偏振化了的，而由无大气存在的月面反射的日光只是微弱偏振。多尔菲斯在水星的反射光里找到微弱的偏振光，因而他认为水星上应有很薄的大气。但是这些观测还不确定，没有得到普遍的承认。总之，即使水星上有一点儿气体，

也不能存在很久。这些气体也许是水星经过行星际空间所捕获的(或其岩石与内部所释放的)和逃逸到空间的气体,出入抵消之后所剩余的一部分。某些观测者认为在水星表面上所看见的浮雾,可能是这些气体所发的荧光或者是它们为太阳的紫外光照射时所发的气辉。我们应当得出结论说,水星表面有气体的说法仅是一种猜度,还没得到确切的证实。水星是大行星中最小的一个。水星的直径只有地球直径的38%,即大约是4 868千米〔这是用雷达技术测得的最好数字,其误差范围只有±5千米〕或等于月球直径的1.4倍。由于水星没有卫星,质量不易决定,但据它施于行星际飞船或爱神星的摄动,得出它的质量仅是地球质量的5.4%($3.25\times10^{23}$千克)或月球质量的4.4倍。由此算出它的平均密度与地球相近,是水的5.4倍。这结果是令人惊异的,因为水星在许多方面类似月球,而月球的平均密度是3.3,与地球的表面岩石的密度相差不远。我们只能猜度这是由于它距太阳很近,当其刚形成时大量损失掉其表面附近的轻元素,剩下的只是一个薄薄的"幔"围绕一个相当大的重元素(铁)的核心,这核心里的铁约占其总质量的80%。

由以上的数据算得水星表面的重力加速度为3.6米/秒$^2$,仅是地面重力的37%;同样可以算出水星表面的逃逸速度为4.2千米/秒,相当于地面的逃逸速度的38%。因此一切轻的气体分子,早从水星原来可能有的大气里逃跑掉了,可能保留在水星表面的只有重的如氙(Xe)、氪(Kr)等稀有气体。这就说明为什么水星的光谱分析即使比较重的二氧化碳也未探测出来。

## ◀ 水星表面的宇航观测 ▶

1973年11月3日发射了行星际飞船"水手十号",人们才认识了水星的真实面貌。这艘飞船的轨道设计,使每隔170日(即水星上每两年)的时间"水手十号"和水星表面接近一次。因此发射后5个月即1974年3月29日、同年9月21日与次年(1975)3月16日,曾连续三次在水星附近飞过。第一次距离水星表面700千米飞过时,拍照并送回了8 000多张照片,分辨力高出地面观测的5 000倍,于是人们始能对隐蔽的水星情况作逼近的观测,它的面貌方才如月球那样呈现在我们的眼前。

我们在"水手十号"初次和水星接近时看见它表面上到处是环形山与盆地,这些照片很容易被人认为是月面上的景色,可是它们之间是有差异的。水星上环形山多的区域,在坑穴与盆地之间常有显著的平原,但月面上的高地区都出现重重堆积的环形山。

水星上环形山间的平原似形成于由冲击形成的大环形山之前。水星表面与月球表面不同的另一点是它并没有很多的直径在20千米至50千米之间的大环形山。有人指出这一差异是由于水星表面的重力为月面重力的两倍，因而水星表面受到冲击而抛出的物质，仅能达到月面在相同的冲击下所抛出物质的面积的1/6，所以水星上由次级冲击形成的环形山比月面更密集于初级大环形山的外围。于是由于早期的事件（冲击或火山爆发）记录在水星表面上形成的"地貌"更易保存，而在月面早期的"地貌"常为近期的事件所掩蔽了。

水星上形成于30亿至40亿年前的大环形山保存得相当完好，似说明它们自形成以来，没有受到"地震"（水星震）使其表壳迁移或火山岩浆熔融的影响。环形山没有侵蚀的迹象，似表明它们自形成以来，水星上没有感觉得到大气的影响，这与水星表面上因微弱的大气使大环形山迅速改观，特别是从环形山出来的明亮的辐射纹显然不同。

由"水手十号"对水星表面的三次勘察送回的信息，确定了水星表面类似月球之处，不只限于"地貌"，而且更令人惊异的是它的历史与演变。可是水星内部的结构却又比其他行星更类似地球。水星的这种表面似月球内部似地球的奇特情况，不但对水星本身，而且对于整个内层太阳系的历史与性质都提出了重要的课题，例如：击成水星表面坑穴的碰撞体是否与40亿年前击成月球上的环形山属于相同的一群物体？抑或冲击内行星和月球的物体是在不同的时期由独立的几群物体所造成的？这一类问题的解答还有待于将来的多次勘察与研究。

"水手十号"上的电视照相机传送水星表面坑穴"地貌"的同时，飞船上的磁强计、等离子探寻器与带电粒子探测器记录了比预料更强的太阳风（即粒子辐射）在这些仪器上所起的作用。这只飞船第一次离水星表面700千米处飞过时，这些仪器已探测出一个弱的磁场和类似地磁场与太阳风之间的相互作用。为了确定这些初步结果，第三次飞过水星时，距离更改变到327千米处，并使其行径经过水星的北极，于是确定了第一次飞越时所探出的磁场强度与方向。水星有一偶极磁场，方向大约与自转轴一致，强度只有地磁场的1%，但比金星或火星的磁场强得多。水星外围有一极薄的氦气圈，表示水星的磁场捕获太阳风里的氦原子核也可能同时保留住它自己发出的辐射。

水星磁场存在的原因还不能确定，有人从理论上探讨地球磁场的机制去说明这机制怎样将地磁场减弱为水星那样小的程度。不论可能得到什么结果，幸运的是又有一个内行星具有可以和地球比拟的磁场。对水星磁场的进一步研究以及它的还没有观测到的半

球的描绘，将是围绕水星运行的飞船的未来任务。

“水手十号”对于太阳系内层的勘察已经表明宇航探测里有不少令人惊奇的发现。更辅以由“阿波罗号”从月面带回的标本，由推论可能更增加我们对于水星的认识，由这些新的观测资料，天文工作者还要努力去描绘有关行星（包括地球在内）的起源与演化的丰富而统一的图案。

# 第五章

# 金星的自转、大气、温度及其表面观测

## ◀ 金星自转周期的雷达测量 ▶

金星是地球的近邻，大小和质量都和地球差不多，但因它覆盖着很浓厚的大气层，所以它表面的物理情况我们知道得很少。1961 年以前主要用雷达与红外光等技术进行观测，才在它的大气结构和自转的研究上取得一些成果。

由雷达观测求得金星的自转周期为 243 日，比它的公转周期长 18 日，而且是沿逆向转动。即面对着北极星看，地球与金星在轨道上按逆时针方向运行，同时地球绕轴自转也是逆时针向的，而金星的自转却是顺时针向的。在地球上我们的太阳日与恒星日之差不过 4 分钟，即地球自转一周之后，它还需要经过 4 分钟才使地上一个定点再次对着太阳。金星的公转周期为 225 日，因此在金星上的一个恒星日（即 243 日）内它在轨道上走了一周有余。结果，金星的太阳日便是 117 日。假想金星上有人可以看见恒星，那么相对于恒星而言，金星绕轴自转每 243 日一周，围绕太阳运行每 225 日一周，而这位观测者看见太阳每 117 日升起一次，而且是西升东落。

使用雷达技术也可能绘出行星的表面图。譬如金星自转时，人们发现某些雷达发射的脉冲波比从金星表层反射回来的波的时间或长或短一点，这种现象表示这些回波是分别从金星的低坑或高原反射而来的。而且由金星这些不同的区域反射回来的信号的强度也是不同的，这表明发射波碰见的土地的平滑度（因而反射能力）是有差异的，这种方法虽然不能将金星绘出一幅详细而且清晰的图画，但考虑到金星的云层不能使我们看见或拍摄它的表面，这种方法也算有相当的价值了。

## 金星的大气

许久以前人们便从以下各种观测推断金星上有浓厚的大气：

(1) 金星的反照率特别大，这是有云或气体的特征。以上说过水星或月球由于没有大气，而且它们表面的岩石和尘埃颇能吸光，因而反照率低。

(2) 金星在娥眉位相时其“月角”边缘伸长到黑暗一边去，表明被照亮的部分不止半球。这种现象是由于大气散射日光，经过明暗界线而造成的曙暮辉现象。

(3) 金星云层的反射光谱里有吸收线，是由于云层上的气体所造成的。

用分光观测，首先于1932年在金星大气里被确认出的气体是二氧化碳，以后又找到微量的氟化氢与氯化氢。在地面上用分光观测很难找到金星上的水汽，因为地球大气里不少水分吸收光线，改变了行星的光谱。1959年用升腾高空越过地上大部分水汽的气球所拍的金星光谱，证实了这颗行星上有少量水汽的存在。

1967年6月11日发射的“金星四号”于10月18日从金星附近经过时，用降落伞和吸气筒从金星表面采集一份金星的大气样品，加以分析之后，由拍回的报告得知金星的大气成分的90%～95%是二氧化碳，氮还不到7%，水汽与氧的混合体为1.6%，至于水汽只有0.4%，但没有发现氧原子。由“金星四号”的观测证实金星的大气很密，其表面气压至少比地球海平面上的气压高20倍以上。这些数据与早年天文工作者根据金星大气的理论模型算出的结果大致符合，事实上，为了说明金星表面的高温度，它的大气必须是致密的。“水手五号”(和“金星四号”同时发射)于1967年10月19日，携带测量金星大气与其附近环境的仪器距离金星表面1 000千米飞过，据其越过金星大气时发回的无线电波的衰耗情况，得到一些有关金星大气的密度与其他性质的信息。

“金星四号”从金星取得的样本，回答了一个很难了解的问题：金星上暗云般的大气究竟有多厚？那些吸气的罐子曾经下降到金星表面15大气压至22个大气压处。既然金星和地球在许多方面都很相似，为什么它能保留那么多的大气？这个问题目前应当换一个方式提出，因为从前地球也有过这么多的大气。由现今地面的石灰岩层有一千米多厚的现象，推算出从前地球大气里应有20个大气压的二氧化碳，它和硅酸盐化合后，才能结合成这么厚的石灰岩。化学家尤里(Urey)说明这化合过程需用大量的水为催化剂。金星上之所以缺水是由于它的水分业已(和正在)被用去，这使它的大气里的二氧化碳变成“化石”。可见上面提出的问题的答案是由于金星表面上的水相当稀少，而不是二氧化碳特别

丰富。假使金星上原来有和地球上一样多的海洋，它的大气才可能和地球的大气相似。

“水手五号”上的仪器测得金星上的磁场很弱，但在其高层大气上发现有电离层，比地球上的电离层还密。虽然它上面的磁场很弱，可是太阳的粒子辐射为其电离层所偏折，而不像月球上太阳风与表面发生直接的碰撞。

金星的云层仍然是一个疑谜。据对这些云层反射日光的测量，结果是和由水滴形成的反射现象相似。这些云层表现淡黄色彩，但水滴的反射光却是白色的。这些云层也可能是水汽，但由于其中混有其他物质粒子，因而呈现淡黄色。反之，还有各种微粒晶体也可能使云层表现颜色。金星上的云可能不能形成云层的结构；金星上的大气相当致密，其中的尘埃或分子散射日光，亦可能造成颜色现象。

至于金星表面的情况，我们更是一种猜度。由于它的表面温度高，大气里水分少，大多数天文工作者认为金星表面既热且干，而且常有尘埃风暴掠其表面而过。

## ◀ 金星的温度 ▶

我们不能直接看见金星的表面，它为一层厚的云状大气所掩蔽。它的光谱的特征是二氧化碳的吸收谱线。人们一向认为金星的主要成分是氮分子，这是根据地球大气，用类比推理而作出的假设，因为在可见光的光谱里不能找到氮分子的强谱线的缘故。由金星的射电观测推出它的温度约为 700°K。这种惊人的高温使我们不敢肯定它是金星表面的温度。另外一个解释便是这些射电波是由金星大气里的厚电离层而来的。

由金星的射电观测所引起的问题，于 1962 年为行星际飞船“水手二号”所解决。射电波的强度在金星表面上各处表现相当大的差异。“水手二号”用 2 厘米波观测，证明射电天文学家所观测到的高温实际上是金星表面的温度，而不是它的电离层里的温度〔这结果为“金星七号”软着陆于金星表面而得到直接的证明，这只飞船实际测得金星表面的温度约 750 K，而且其表面气压是地球的气压的 90 倍。“金星七号”原来设计是可以在 800 K 与 180 倍于地球气压的环境里工作的。这只飞船在金星的黑暗半球里工作了 23 分钟，是其主要的成就〕。我们由分光观测得出金星云层顶的温度约为 235 K，由此可见金星大气的温度随离其表面的高度而迅速降低。那么，金星表面怎么能够保持这样高的温度呢？

要回答这个问题，需要了解行星的大气对温度有什么影响。例如火星的理论温度据计算为 250 K，和实测值相差不多，又如地球温度的理论值与实测值都接近 300 K。火星与地球皆有比较稀薄的大气，显然它们的大气对于温度没有多大影响。金星的大气似有效

地利用了射入的太阳能量，而造成它表面的高温。

造成这种高温的可能机制是熟知的**温室效应**。在气温高、阳光强的日子里进入温室或门窗紧闭的汽车里，立刻便会感觉炎热高温的袭击。

以前讲过地球表面的温度是据白天接收太阳的能量与夜里地面辐射回空间的能量两者之差而测定的。如果这种夜里散热的损失减少，结果便使表面的温度增高，温室的作用便是这样。可见光容易通过玻璃而使温室里的泥土吸热，但泥土比太阳冷得多，它反射回去的不是黄光而是红外光。可是大多数玻璃不能透过红外辐射，因而它被拘囚在温室里，所以那里太阳的能量能够进去而泥土反射的红外辐射却不能出去，因而温室里成为一个炎热的地方。

由行星际飞船的测量得知金星的大气差不多全是二氧化碳，因此以前认为金星大气的主要成分是氮的假设是错误的。从空间探索的多次测量得知金星表面的气压，在地球的大气压的 90 倍至 100 倍之间。为二氧化碳构成的致密大气所以能够促进温室效应的理由是这样的：虽然太阳的辐射不能像地上的温室那样直接达到金星的表面，但对于可见光，金星的大气基本上是一种散射的（即改变光子的方向而不改变其能量的）介质，因此太阳的能量可以向下散射（漫射）而使金星的表面产生热。对于金星表面反射的红外辐射，二氧化碳是不透明体（或真正的吸收体），因此可以造成温室效应而得到高温。金星大气里可能发生对流，这就造成温度随距离表面的高度而变化的效果。

金星上二氧化碳的厚气层与超过 700 K 的表面温度，说明它是不适宜于宇航员去访问的行星。至少在可以看见的将来，不会有载人的飞船上金星去，至于进一步的探测，只好用不载人的飞行器了。

## ◀ 金星表面的宇航观测 ▶

1961 年至 1970 年间自动行星际站与金星探测器 10 多次的发射，终于进入金星的大气层，并在金星表面软着陆，从而取得许多重要成果，现综合列举重要几条以结束本章：

（1）金星大气的主要成分是二氧化碳，占 90％以上，氧和水汽约占 1％，氮不及 2％～3％；上层大气布满浓密而寒冷的云层，厚 25 千米，由凝聚的二氧化碳组成。

（2）获得金星大气层的温度与压力随高度分布的资料，大气顶有狭窄的电离层。

(3) 测得金星表面温度为430℃，表面压力为90±15个地球的大气压。

(4) 金星的磁场强度只有地磁场(约半高斯)的万分之一二，而且没有辐射带。

(5) 金星外面有微弱的氢冕环绕。

(6) 由飞船精确地测得金星的质量为太阳质量的1/408 522.6，或地球质量的0.814 85±0.015倍。

# 第六章

# 射电天文学的新发展

许多年前，人们已经知道无线电收音机里有一种背景噪声（杂波），不管收音机的组件怎样完善，不管将收音机放在距离地面无线电发射源怎样遥远之处，这些噪声总是不能完全消除的。在无线电通信的早期里，人们对于收音机里的劈啪音响做过大量的研究。早在 1926 年青年无线电工程师央斯基（K. G. Jansky），开始对天空做扫描的接收实验，希望解决这个消除不了的噪声问题。经过两年的大量观测以后，他才明白一向认为“天电干扰”的效应，实际上是由宇宙空间而来的赫兹波。1935 年他使用更好的定向性天线去接收这些无线电波，才发现当天线逐渐接近银河的方向时，噪声逐渐加强，而且无线指向银河中心即人马座的方向时，噪声的强度达到极大值。他还发现他所研究的 15 米波上的寄生噪声随地球自转的恒星周（即 23 时 56 分，而不是 24 时）而变化。

这些奇特的观测接着为另外一位无线电工程师尔伯（G. Reben）加以证实和扩充。尔伯早在 1936 年便建起第一台“射电望远镜”，这是一具口径 9 米的抛物面接收器，工作在 2 米的波长附近。他用这台仪器绘出天空的“射电图”，内容是宇宙噪声的等强线。在银河里这些射电等强线一般是与光学等强线吻合的。最奇怪的是尔伯的仪器虽然相当灵敏，却不能检验出由太阳而来的射电波。这便是第二次世界大战以前射电天文学萌芽的情况。战争结束后，英国和澳洲的几个科学工作队，利用战争期间雷达技术的经验，努力从太阳方向探索，我们将在下面叙述。

**射电天文学的发展** 射电天文学诞生于第二次世界大战后，其研究对象可以大略分为三类：即太阳射电、宇宙射电和雷达天文。雷达天文主要内容是用雷达方法〔雷达是英文 radar 的音译，原文为“无线电侦察和测距”〕探测行星、月球、流星和太阳等天体。近些年来，由于宇宙飞船实现了月球登陆和行星的近距观测，雷达方法已降到次要地位。

宇宙射电工作的发展，迄至现在可以分为三个时期。第一时期从第二次世界大战结

束到50年代末，特别是利用大战中发展起来的雷达技术（主要是接收技术）进行宇宙观测，开始对全天射电现象的“普查”。很快便发现了这种观测的重要性，认识到宇宙天体的射电现象反映了天体的物理本质极重要的一个侧面。但这一时期的射电望远镜与常用光学望远镜相比只能算是一种很粗糙的工具，而光学望远镜分辨目标细节的能力比射电望远镜一般要高一百至几百倍。因此当时的工作主要采取这样一个程序：发现射电目标，然后找出和它对应的光学目标，再将光学与射电的观测资料联合起来分析，补充以往对宇宙天体的认识。这一时期的另一重要工作是：针对观测要求和观测工具之间的尖锐矛盾，投入很大力量从事射电天文技术方法的研究，并设计和建造大型射电望远镜与干涉仪。宇宙射电研究的第二个发展阶段包括了整个60年代。随着日益增多的射电望远镜投入工作〔典型的有直径20多米（个别的40米以上）的厘米波的射电望远镜和天线的口径面积是几万平方米的光波射电望远镜〕，在进一步精细“普查”的基础上获得具有重大科学意义的发现，主要有：1960年人们发现类星体为“超宏观”物理规律和宇宙结构的研究提供重要的新材料；1968年发现脉冲星（或射电脉动体）对恒星演化、基本粒子以及化学元素在宇宙环境中的形成都是头等重要的重大课题；1969年在星际物质里发现水分子（$H_2O$）和甲醛（HCHO）等无机与有机分子并与前一年所发现的星际氨（$NH_3$）共同暗示了宇宙空间里存在（例如通过类似于实验室中的合成步骤而形成的）生命结构中最原始的素材（氨基酸）的极大可能性，为生命起源的探讨开拓了一个新的重要方向。

取得这些成果的同时，根据理论设计制造的各种类型的射电天文仪器大都通过实践得到比较好的发展，使射电望远镜从开始时每经三五年左右必须更新的状态进入到相当稳定的趋于“定型”的阶段。20世纪70年代的前两三年，可以认为是宇宙射电工作进入发展的第三阶段。现在射电天文学业已摆脱仅是“普查”或统计的时期，转而与光学天文并肩作战，对特殊天体进行频谱、射电亮度和偏振等测量，从而对天体物理性质、化学结构进行深入的探讨。70年代开始时最大的射电望远镜，在效能上，不但可与最大的光学望远镜媲美，而且在一些地方超过了光学望远镜。如联邦德国的直径100米的厘米波抛物面天线与美国的Y型巨大干涉仪，这些仪器不但具有探测天体微弱辐射的能力，而且就Y型干涉仪而言，分辨细节的能力不低于现有任何地面光学望远镜的实际分辨能力。

**射电望远镜**　现在通用的射电望远镜分为两个大类型。尔伯的第一台射电望远镜是抛物面的盘状结构，口径为9.3米〔这一台射电望远镜作为“文物”，现今还保存在美国国立射电天文台内〕，现今这种类型的仪器口径大有增加，英国焦德堤（Godull Bunk）的一具口径为75米，美国绿堤的一具为90米，联邦德国的一具为100米。这种射电望远镜的显著优点是

可以操纵(即可以瞄准在天空的任何方向上)并可以研究一个较大区域的天空。

更大的盘状射电望远镜,当是康奈尔大学在波多黎各岛上阿累西波(Anecilo)山一堆天然岩石上修建的一台球面天线(大的抛物面在技术上难于建造),直径为 305 米(1 000 尺)。这台球面接收器上空 130 米处悬有一个由钢丝网络所组成的反射面。这虽是一个固定的仪器,但用这反射面作为馈线系统,可以接收天顶周围 20°范围内的电波。

这些盘状射电望远镜,虽然主要用于接收地球以外的射电波,但亦可用做雷达的发射器与接收器,例如向月球发射短波脉冲信号。这些脉冲波经过目标天体的反射后再被发射源接收,由电波往返的时间可以估计天体的距离。现在已经用这方法测量到土星的距离,最近的将来,雷达波可望接触冥王星。由于行星的自转,更可由反射波的测量,以求行星自转的方向与周期,亦可从回波信号的特征,去了解行星的表面性质。射电天文工作者用雷达方法求得水星和金星的自转周期与表面物理性质,已在本书第四篇有关几章之内讨论了。

第二类射电望远镜叫做射电干涉仪,可用于高分辨率的工作。这是一组偶极天线阵或八木天线(波导式天线)阵,经常排列成十字形、半圆形或全圆形,例如澳洲悉尼的十字天线东西向与南北向两臂各长一英里(1 600 米),可以调节,其作用如子午仪。又如建在新南威尔士苦古腊的射电太阳仪是口径 12 米的 96 只天线,排列于直径 300 米的圆周上,在射电波段上以高分辨率观测黑子,每秒钟可扫描太阳一次,取得太阳的射电图一幅。

1970 年世界上 43 个国家设有 292 个天文台,其中 197 个光学天文台、95 个射电天文台,它们大都从事天体物理(包括太阳物理)的研究。20 世纪 50 年代末全世界只有 4 架口径在两米以上的光学望远镜,自 50 年代末到 60 年代末的十年间增加了 13 架,还有 17 架正在建造中,其中最大的一架是 1949 年美国建成的 5.08 米口径的望远镜。苏联还建成 6 米口径的反射镜。

自 60 年代开始,大中型射电望远镜也在迅速增加。目前直径超过 25 米抛物面天线能工作到厘米波的,总数在 50 面以上。最大的射电望远镜,可以机械跟踪、完全可动的抛物面镜,其口径已达 100 米,固定式的口径达 300 米,还有许多其他类型的射电望远镜、天线阵和分辨率达 $2'\sim5'$的射电干涉仪。目前长基线干涉仪在欧美两洲观测同一射电源的角分辨力可提高到万分之一秒,在天体测量学上将成为一个无可比拟的优越仪器。

**太阳的射电观测** 第二次世界大战结束以前,从太阳而来的射电信号已经为英国沿海的雷达队所探得。1942 年 2 月 26 日这些雷达队报告各台站发生异常信号的干扰,来源的方向都认为指向太阳。白天这些干扰源的方向随太阳而移动,日落后就消逝了。第二

天干扰又出现，到第三天干扰才衰弱而归于停止。因军事保密的缘故，这个奇特的现象当时没有公布，直到战争结束以后的 1946 年，英国雷达研究所才透露了这个消息。由天文观测得知那时有一个大黑子和它联系的耀斑正经过日轮的中心线，因此大家才明白这些射电干扰的来源与日面活动的光学现象（黑子和耀斑）是有联系的。

于是先在英国和澳大利亚，以后又在其他国家，组织了系统的观测去研究由太阳而来的射电波。不久便发现除了与太阳大气里光学扰乱相连的经历几小时乃至几天的射电爆发现象之外，还有经历几秒或几分钟便消逝的短暂爆发，而且在"宁静的"太阳上也有更微弱而经常存在的射电波。大战快结束的时候，美国的雷达接收器已经以 3 厘米和 10 厘米的波段查出太阳上常有的这种弱波，而且在这之前前尔伯已经发现了波长 1.9 米的太阳辐射。这两种辐射的强度都远远超过 6 000 K 的光球的热辐射。射电异常爆发时的辐射大都在 1 米至 10 米之间的米波段内，至于经常爆发时的辐射是更平均地分布在射电波的极短区域内，自几厘米波长开始，能量逐渐加强。至于"宁静的"太阳所发的辐射以毫米波为最强，波长上升到 1 米时逐渐减弱，更长时便降落到很微弱以至不能辨认的程度。由于太阳现象对于无线电通信具有重要意义，天文工作者自大战以来做了大量的太阳射电研究工作，因而得到不少的收获。我们只谈几个重要的成就。澳大利亚悉尼射电物理实验室于 1949 年制成射电分频仪。这种仪器可于每秒钟内扫过频率相当宽的一带，因而查出大爆发时所发的辐射频率是有变化的，而且这些辐射里有时出现谐波。这些观测经人解释为太阳发出高速（1 000 千米/秒的数量级）粒子的表现，这些粒子（称为太阳风）接触地球时可能造成磁暴与极光。射电观测也表明太阳发射超高速的粒子，速度之高值可与光速相比。

1951 年悉尼射电物理实验室又发明另外一种名叫射电干涉仪的卓越仪器。这种仪器类似粗衍射光栅制成的抛物面反射镜，32 架排成一列，使接收图形成为宽窄相间的条纹。太阳经过这种仪器的视场时，每根条纹扫描日轮的情况和摄谱仪上的光缝一样，于是可以很精确地定出射电的来源在日轮的哪一点处。射电天文工作者使用这种仪器可以详细地定出黑子、氢气谱斑以及其他活跃区域里特别强的射电波的来源。

另外的重要观测是在日食的时候进行的，因为当月轮逐渐掩蔽日面的时候，那是我们研究月面上一定区域的射电辐射的一个最好时机。由这些和其他方法所得的大量观测数据，经许多理论工作者的研究，发现了太阳大气里射电波起源的几种机制，例如日光内电离气体的等离子区的振荡。这些振荡是由在高温低压的日冕里容易碰到的带电气体团所造成的。这种机制虽然可以说明射电爆发，但是要建立一个完满的理论去解释由太阳射

电波所表现的复杂现象，还有许多细节需待澄清。现今观测太阳大气（色球和日冕）中发生的现象，所用的波段从毫米波到米波。厘米波和毫米波的辐射对于大耀斑的形成与太阳活动的预报，具有特别灵敏的作用。为了分辨活动区的细节，须造高分辨率的射电望远镜，自毫米波段至米波段内的分辨率目前达到 1′～3′。口径 22 米的大型抛物面，工作波长为 8 毫米，分辨率达 1′.6。还有 34 面的小型抛物面组，工作在 8 毫米和 32 毫米的两具复合干涉仪分辨率达 2′.4，它们不仅能分辨目标区的细节，而且可以测量偏振，这为色球磁场的测量开辟途径。美国曾建成一具口径 4.56 米的毫米波射电望远镜，工作在 3.3 毫米波长上。为了观测爆发，高分辨率的望远镜需要配备快速扫描和数据处理系统（电子计算机）。前节所说的南威尔士排列在直径 3 千米的圆周上的 96 面天线阵便配备有扫描和数据处理系统。

**流星的射电观测** 研究太阳和宇宙噪声的射电望远镜只是一种收集电磁能量的仪器，正如光学望远镜是一种收集光线的管子，同是被动的观测仪器。但是射电天文学有一分支，使用雷达的全部技术（因而称为雷达天文学），换句话说，即光将射电波从定向天线射出，再接收遇着障碍物回来的反射信号，然后加以检验与分析。如果障碍物是流星余迹（即流星余下的电离气体柱），我们便可用雷达去观测流星。1946 年 10 月 10 日流星雨出现的时候，英国曼彻斯特焦德堤实验室的射电天文工作者将这方法作了大规模的应用。这阵流星雨是 13 年前所见的另外一阵流星雨的重演，它是由一个周期 6.5 年的小彗星而来的。这阵流星雨在 1933 年出现时，因气候好，观测很成功，可是在 1946 年再出现时，欧洲大部分地区因有月光或云雾，观测受到障碍，因为这两次观测只是使用光学的经典方法。如用雷达的方法，月光、云雾甚至阴雨都不能阻碍，保证观测一定成功。到了 1947 年，用雷达观测流星的优点更加显著，曾观测到白昼出现的几阵流星雨，这些流星雨不在夜间出现是光学天文工作者完全无能为力的。这些流星有几群经人证认是属于哈雷彗星与恩克彗星的。

曼彻斯特焦德堤实验室的研究者对于流星天文学做出了重要的贡献。他们解决了关于偶发流星的来源问题的争论。根据目视观测，有人认为有些非周期的流星，速度超过抛物线速度，这就是说，有些流星是从太阳系以外而来的。但是用目视的方法求流星的速度是很困难的，因而所得的结果是不确定的。由焦德堤所测得的流星的速度有几千个之多，说明偶发流星和雨状流星一样，均沿椭圆轨道运行，同是太阳系里的永久成员。这一结果对于流星起源的理论有重要意义，自不待言。

**月球与行星的射电观测** 自 1946 年以来许多射电天文台向月球发出射电波，得到雷

达式的回波而测定月球的距离，与根据天体力学计算出的结果完全吻合。继后更利用这个方法求得金星和地球间的距离，从而推出天文单位的最好数值。同样，又利用多普勒原则测定金星和水星的自转周期并绘出金星的表面图像。一方面人们又利用月球与行星所发的射电波，查出行星的物理（如温度和土壤结构）与大气特别是木星的磁球。我们已经将这些结果分别编入以前几章之内，便不在此重述了。

**星际氢气**　星际里亦如星球上一样，最多的元素是氢。1945 年荷兰青年天体物理学家范・德・胡斯特说明中性氢原子应该发射 21 厘米波长的射电波。这种谱线的性质是这样的，原来原子只能存在于某些能量状态下。根据量子力学，我们可以计算这些状态，而且可用图来表示，如像我们以前所说过的那样。量子理论经过各种改进以后，说明这些能量状态（或者能级）不是简单的，而是有一种精细结构。这种结构经索来菲据相对论予以说明。现在的解释是因电子不是一个静止的电荷，而是一个自转的电荷。在这种精细结构之外，还有一种超精细结构，由波动力学可以解释为它是由于原子核的自转而形成的。

在基态里，氢原子不发出精细结构，而只发出超精细结构。换言之，这种射电波的形成是由自旋原子核逆转它的旋转方向时，氢原子能量发生细微的改变而来。这也是一个很难实现的跃迁，一个原子平均要在 1 100 万年内才能发出一次 21 厘米波的谱线。这种跃迁在实验室似不可能，在充满氢气的星际却常有可能。范・德・胡斯特的研究发表六年以后，这条谱线于 1951 年终于被荷兰、美国与澳洲三个研究集体所发现，同时在奥尔特和他的学生手里收获也很丰富。

自从射电天文工作者发现从暗星云里中性氢所发出的 21 厘米波以后，便开始用射电望远镜去描绘银河系旋臂的结构。现在举一个例来说明这项工作是怎样进行的。设想射电望远镜指着银道面上仙后座内银经 80°的方向，这方向上氢气云的相对速度是向太阳而来的。这方向上有几团暗星云，离开我们愈远它们的接近速度愈大，按多普勒效应，它们的谱线愈向短波方向移动。所以先把射电望远镜调节到 21 厘米波，然后到更短的波，这样的观测逐渐达到更远的空间。强度大的射电波便是由旋涡臂里的氢气云所发来的。射电望远镜所记录的谱线轮廓，由这三个大轮廓求出视向速度，更辅助以银河系自转的角速度便可求出这三条旋涡臂离开太阳的距离分别是 500 秒差距、3 200 秒差距与 7 500 秒差距。

从北银极下望，银河系自转的方向是顺时针的。在 80°的方向上有三条氢气所构成的旋臂，第一条是猎户臂，第二条是英仙臂，第三条是切于 18°的人马臂。猎户和人马两臂距

离银心愈远时银经度愈大，这表示在银河系自转里这两条臂是拖曳在后面的。太阳的上面有一狭窄的空隙，表示在背银心的方向上视向速度接近于零，因而氢气云的视向速度便不显著。

中性氢的21厘米射电波，也为澳大利亚射电天文工作者发现。在最近的河外星系的大小麦哲伦云里，他们的测量表明小云周围有很广阔的由氢气组成的大气，且向大云伸展，好像受了潮汐的作用一样。光学观测也表现有类似的现象，只是更短小、更狭窄罢了。根据两云许多的气体所测定的视向速度，求得这两个近邻星系的自转与质量。

哈佛大学射电天文站所进行的研究，说明中性氢的21厘米波，不只是在银河附近，在天空许多区域都可查出，这表明银河星系周围有氢气形成的一个巨大晕冕。

我们早已知道，空间有氢原子结成的云，但只限于热星附近。那里氢原子基本上在电离状态下，当它再降落到中性状态的时候，发出各种辐射，其中就有 $H_2$ 那条红色谱线。这区域叫做 HⅡ区，除了发射星云附近，银河内许多区域里都有电离氢气云，天文学家曾用光学望远镜观测，描绘出银河系的旋臂。至于射电文学家所观测到的发射21厘米波的中性氢的区域，叫做 HI 区，只有射电望远镜才观测得到。

HⅡ区里的炽热氢气云，为什么除通常光线之外，亦发出射电波呢？这是因为热星埋入在氢气云里的缘故。这些是O、B型星，位置在主星序的高处的巨星，表面温度高达25 000 K，发射大量远紫外辐射。它们能使中性原子电离，因此这些短波辐射为周围的氢气所吸收，而使其质子与电子分离。由于这些氢气云里有大量的蓝巨星，大量的热氢气都转变为自由质子与电子，更由于这些气体异常稀薄，它们在碰撞以前就有相当长的平均自由程。两颗粒子碰撞时可能产生两种现象：如果它们以适当的速度做适当的碰撞时，它们可能复合成为一个中性氢原子而发出可见光；反之，如果碰撞之时，两颗粒子不能满足复合成原子的条件，则一部分碰撞能量变形为辐射，其波长的范围很广，除可见、紫外、红外等辐射之外，还可能发出射电波(波长9.4厘米)。

**银河系里的射电点源**　银河系里除了发射电波的高温氢气云之外，还有其他点源发射很强的射电，其中一些的强度超过氢气云100万倍。这种射电能量的大量发射，不能用质子和电子相互作用的机制去解释，而需研究能量大到足以造成这种辐射的另外一种能量的机制。首先考虑一下这些点源的特性。例如一个强点源是金牛座内的蟹状星云，我们已经讲过这是1054年超新星爆发的遗迹。另外一个特别强的射电源在仙后座内，在肉眼里虽然不如蟹状星云那样显著，但在长时间露光的照片上它却表现出一系列的网状纤维。这些纤维经巴德和闵科夫斯基研究，表明它们常在运动之中。从照片上定出有些纤

维的速度高达 2 000 千米/秒，至于比较弥散而不易识别的纤维，速度大到 4 500 千米/秒，还有一些纤维在其长度上速度是有变化的。第三个强射电源在天鹅座内，它在照片上非常暗淡，1954 年经人证认为银河系外的天体。

为什么这些以高速运动的天体会发出射电波呢？阿尔文曾经提出一个可称赞的解答，他说当这些高速运动的纤维互相碰撞之时，与这些气体云联系的磁场便受压缩，而增强其强度。另一重要结果便是这样的磁碰撞将使自由电子加速到很高的程度，以至其动能达到宇宙线粒子的动能。这样的粒子，当它们和这些运动的磁场起相互作用之时，很可能产生射电波。

除了已知蟹状星云是超新星的遗迹之外，我们还没有谈到其他银河系射电源的来历，现在认为这一类射电源大多数(即使不是全体)也很可能是超新星爆发的遗迹。1572 年仙后座内的第谷超新星和 1604 年蛇夫座内的开普勒超新星已经被证明是它们变成了射电源。的确，超新星产生上述理论所需的高速度给予膨胀的气壳。我们将在后面讲到新发现的脉冲星(一种特殊的射电源)也和超新星遗迹有密切的联系。

除了上述的明确定出的射电源外，还有与银河系相连的其他射电发射区。例如伸展到银道面以外的一个普遍的射电发射区。迄至 1970 年在这广袤而弥散的区域里并未查出有射电点源，在像仙后座内那样强的射电源的某些区域，可能造成高能电子，而逃逸到银河系外围的普遍介质里去。这样的电子，也许由于其高速度与银河系普遍磁场的相互作用而造成这种射电发射区。银河系的中央区域也发射强的射电波，但其机制与以上的情形略有不同。后面将要谈到这种射电源是由演化末期的类星体所造成的。

**河外射电源**　既然我们的星系发射电波，那么河外星系(至少其中一部分)也应这样，这应当是一个合理的假设。果然，1949 年英国剑桥大学的赖尔(M. Ryle)首先在银河系以外发现了射电源。由于射电探测技术的灵敏度日益增加，迄至 1966 年列入剑桥射电星表的射电源已经超过一万，其中绝大多数都在河外，只有少数发强射电波的才经过仔细研究。例如剑桥第三射电星表(3C)内有 100 颗最强的射电源，其中只有 65 个得到光学的证认(1966)。这 65 个中的 43 个确定是“射电星系”，它们发出的能量是银河系或其他“正常”星系的 100 万倍；另外 12 个是蓝色的类星体，也可能在银河系外，还有 10 个与银河系内的超新星遗迹和热氢气云有联系。射电源里 70％是射电星系，其余 30％是类星射电源(亦称类星体)。空间一定范围内，正常星系虽比别的星系多得多，但它们的射电强度相当微弱以至只有少数几个才被探测出来。

我们从射电星系得到的知识主要是综合由光波、射电波(以及 X 射线波)而来的信息。

用射电望远镜可以测量射电源的强度、形状与偏振度。这些性质一般是随观测的频率而变化的。可惜，现在还没有射电的方法去直接测定射电源的距离，而距离对于计算射电源的大小与其所发射的功率都是非常重要的数据。现今测量这种距离的方法只能依靠它们光谱里谱线的红移度去作间接的推算，这样便需大胆地假设射电源参与“宇宙膨胀”而使红移与距离发生联系。

这项研究的途径，首先是将射电源证认为对应的光学天体。最早证认出的两个最亮的射电星系是半人马座内的 NGC5128 与室女座内的巨型椭圆星系 NGC4486 或 M87，这些星系有一奇特的射线从核心发射出来。与其他射电源相对应的光学天体都太暗，需将射电源的方位做出精密的测定，才能和对应的光学天体得到确切的证认。大约有 300 个射电源已经证认为河外星系与类星体(但精确度都有相当大的差异)，其中测出谱线的红移度的还不到一半。1960 年闵科夫斯基对于一个射电源测量，得出其波长的红移度与波长之比值为 0.46，此外还有一些类星体有更大的红移度，将在后面要讨论。

我们曾经讲过，椭圆星系的可见光的强度与射电辐射强度无关，但大旋涡星系的辐射的这两种强度却有一个大约成正比例的简单关系。这种差异是由于这两种星系的本身性质所造成的。椭圆星系里的星属星族Ⅱ，是从原初气体形成的老年星。这些星虽然也存在于大旋涡星系内，但却在它们的核心与球状星团里，至于旋臂里的星，是椭圆星系里所没有的Ⅰ族星。Ⅰ族星的年龄差异很大，从几百万年到与太阳一样老的(几十亿年)恒星都有。Ⅰ族少年星在主星序的高处，以上讲过，这些星从银河系里的热氢气云发射电波，这还证明旋臂里含有大量可以形成恒星的气体，而这些气体便是这类射电辐射必需的成分。由于这些粒子中的电子被加速到高速，它们便和星系里的磁场发生相互作用。因为椭圆星系很少甚至没有这类气体，它们便不会在同样的尺度上造成射电辐射。因此旋涡星系的射电辐射便和少年的Ⅰ族亮星的数目成正比例，从而与旋臂里的总和亮度成正比例，但对于椭圆星系便没有这样简单的关系，因为这类星不但很少，而且形成恒星所需的气体与尘埃已经用尽或早已逃逸到空间了。

最后，我们还须讨论一个奇特的情形。据以上所讲过的，我们将预料的大旋涡星系是最强的射电星系，但观测却表明最强的射电星系是椭圆星系，而且其中一些是极其特殊的星系。一个例子是半人马座射电源 A(即 NGC5128)那个发强射电辐射的特殊星系，它的射电辐射比可见光强。起初天文学家以为这一类射电源是两个碰撞着的星系，因为它们在碰撞中，气体和尘埃云的相互作用可能产生射电辐射。由于宇宙空间无比广阔，这种碰撞的机遇当是异常稀少，但这种特殊星系却非常之多，因此不能认为是由于碰撞所形成

的。使用分辨率较大的射电望远镜对于这些射电源周围做等强线的测量，现在才认识到这些奇特的射电星系实在是广阔的空间里（对于人马射电源 A 范围是 $8°\times 4°$）有相当大的间隔的双重星系。

**射电星系的能量** 射电星系有多得无法想象的能量。我们有两个方法去估计这些能量。

射电星系的两个部分之间的距离是 $10^5$ 光年至 $10^6$ 光年的数量级。即使它们以接近光速分离开来，它们可能在 100 万年前业已存在。因为一年大约是 $3\times10^7$ 秒，而 1 瓦特等于 $10^7$ 尔格/秒，如果假设一个很强的射电星系在 100 万年内每年放射 $10^{13}$ 瓦特，则该星系所辐射出的总能量便是 $3\times10^{13}\times10^7\times10^{38}=3\times10^{58}$ 尔格。若再假设这星系能量的 0.1%至 1%转化为射电波，则快速粒子与磁场的能量便可能超过 $10^{61}$ 尔格。

我们也可用下述的方法估计射电源的能量。既知射电源的发射强度与其大小，我们便可计算造成观测到的用同步加速辐射所需的快速电子与磁场强度的能量。再假设质子（氢原子核）也加速到电子那样高的速度，于是表示粒子与磁场能量的总和能量也大约是 $10^{61}$ 尔格。

根据爱因斯坦的质能关系式，即任何物质的质量 $m$ 与其能量 $E$ 在数量上的关系为：

$$E=mc^2,$$

其中 $c$ 为真空里的光速。原子核反应（例如在太阳内或原子弹里）所发生的都是质量转化为辐射能量。一个星系的质量约等于 $10^{11}$ 个太阳的质量，可见它的质量里所蕴蓄的能量 $E=mc^2=10^{65}$ 尔格。所以射电辐射表明一个星系的总能量，至少它的万分之一能量等于 1 000 万个太阳已经变形为产生辐射的粒子与磁场的能量。已知的核反应还没有一个能够使物质全部转化为能量。这问题还没有解决，一个假说是星系的引力坍缩：质量向星系中心坠落，在其自身重力下不断加速，终于演变成一种猛烈的爆炸，结果造成能量的大量释放。

我们看过有几个星系（如天鹅 A 射电源）便有这么多的能量，虽然大多数射电星系不是这样的。尽管如此，它们都表现相同的能量问题。它们的射电结构与光学特性都差不多表示星系核心在过去曾经爆发过。由射电结构的分析表明射电源中 85%是双重或多重的结构，约 10%是核和晕的结构，而其他类体的星系，只有 5%。

1960 年英国射电天文学家赖尔（M. Ryle）与休伊什（A. Hewish）共同发明综合孔径的射电天线阵。他们将几个较小的天线组合在一起，通过它们同时对一个目标观测，不但可以得到单个天线所得不到的天体的清晰射电图像，而且能够达到一个大天线所具有的高

分辨率。可见，综合孔径法使几个小天线起到了一个大天线的功用，即在不特别加大射电望远镜的直径的情况之下，提高了射电望远镜的分辨能力，使其能和光学望远镜媲美。它的应用对射电天文在 20 世纪 60 年代的蓬勃发展起了重要作用，而且必将对今后的发展产生深刻影响。

**小结** 这一章简略地叙述了射电方法对于天文学的贡献。我们不禁要问：为什么在不到一代人的短暂时间里，这种方法在天文科学的每个领域里都能够作出如此迅速而重要的成就，而且取得令人惊奇的进步呢？首先，射电波具有一种显著的优点，它能穿过星际间的尘埃与云雾。只是这个因素还不足以解说这些伟大的成就，更基本的原因是在射电量子的低能量上。作为能量交换的单元的量子，对于射电波是较小的，因为它比光波在频率上要小几个数量级。

天体物理现象中能量的释放，容易由多数低能量量子（因而由射电波）的次级过程而形成。而且讨论到射电波的吸收时，极限灵敏度为接收到的量子数（而不为总能量）所决定，因此这又是射电波的另一优点。虽然在决定天体物理现象的数量级上，能量是决定性因素，但是我们可以从天体发射来的低能量射电量子得到更多的信息。

作为通信工具，射电波具有很大的潜在能力，例如表现在无线电广播与电视里的成绩是大家所熟知的事实。用射电方法探测空间，又得到关于宇宙的大量知识。如果别的行星上也有生物（据估计银河系里有几十亿颗恒星，其中一部分可能有维持生物的行星），那么，假使不在同一个“太阳系”里的生物企图互相通信，必然要使用射电波（虽然在途中往返的时间至少需要十年之久，这是另一个问题）。由于了解与利用无线电波的特性，而且发现怎样翻译所接收到信息的意义而作出回答，于是射电波将为人类提供另外一种有力的新感官，从星际间生物得来的知识必然会使宇宙探索进入另外一种新境界。

# 第七章

# 新天文学

**可见光外的电磁波** 我们看见从太阳、月亮、行星和恒星乃至遥远的星系而来的光线，都属于电磁波谱的一个很窄的区域，一端紫色，波长约 3 900 埃〔埃是一种波长单位，等于一亿分之一($10^{-8}$)厘米〕，另一端红色，波长约 7 400 埃。这两端的界限随各人眼睛的灵敏度稍有不同。远在 1800 年，威廉·赫歇尔便用一对温度计，将盛汞的球涂黑，曝露于日光里，证明太阳光谱里有可见光之外，还有看不见的辐射，因为它造成一种热效应，使温度计里的汞上升。这些看不见的光便以红外辐射得名，用特殊的照片可以将红外波追索到 1.2 万埃，用其他方法还可在太阳光谱里将它们追索到 5 万埃。至于红外辐射之外，还有更长的电磁波，取名为赫兹波，即射电波。

1801 年里特(Ritter)证明可见光谱的紫波一端还向外延伸。这些紫外辐射也和可见光谱里蓝光和紫光一样，能够造成某些化学分解。例如它们可使一般照片上的乳胶感光，因而把它们记录到 2 000 埃，特殊的仪器还可将它们追索到 140 埃。

自然，电磁波谱并不停止在这里。在医学上很有用的 X 射线，波长在 0.1 埃至 25 埃之间，而不能察觉地侵入人体的更短的 $\gamma$ 射线，其波长短至 0.05 埃。最后，渗透到整个空间里的宇宙线的电磁波部分，波长之短达 0.000 4 埃。

这些辐射有许多对于生物有毁灭能力。强度的紫外光对于动物是致命的，X 射线能够毁灭植物和动物的生殖细胞。幸而从太阳发出的这种辐射，只有一小部分穿入地球的大气，我们才能生活于地面上。除了穿透力强的宇宙线之外，大气上层的氧和较薄的臭氧层吸收了紫外波里比 2 900 埃短的一切辐射。而且太阳辐射里比 4 万埃长的红外波，通过大气里的水汽，传播到地面来的还不及百分之一。自然，从恒星发出到地面来的辐射亦有相似的情况。因此，如果我们要研究从太阳或恒星发来的这些短波或长波辐射，便需掌握从大气以外去观测它们的方法。只有射电天文学所用的射电波是唯一的例外。

直至不久以前，我们观测可见光范围以外的天穹，唯一的方法是将小型仪器装置在气球上面，并将它送上大气以外，升腾到许多吸收层之上。可是现在人们能使人造卫星进入绕地运行的轨道，既能运载更大、更复杂的仪器，又能在空中停留相当长的时间，因而可以使用各种波长去做各式各样的观测。有人还设想将来在月球上建立天文台，起初在地面用电波遥控，最后科学家将去那里亲自观测。近十余年天文工作者用地面上的特殊仪器和辅助设备，并将自动化仪器装置在轨道天文台(即天文人造卫星)上，为研究天体所发射的可见光以外的其他辐射做了不少工作，从而得到大量有价值的信息。因此，我们在本书内特辟本章，专门叙述在这方面迄今所取得的成果。

**红外天文学** 很久以前天文工作者已经感觉到，假使我们能用红外光去观测天空，必然和肉眼看见的情况大不相同。早年使用照相法去拍摄的星空与肉眼看见的星空比较之时，便得到这种印象。一般的照相底片乳胶对于各种颜色光的灵敏度和肉眼的灵敏度大有差别。肉眼最敏感之处在黄色区，而通常的照相底片以蓝色区为最有效。因此一颗红星，如参宿四(猎户 α)，在肉眼里是明亮的 1 等星，而在照相底片上，只勉强可以看出；同样一颗蓝星，如参宿七(猎户 β)，在照相底片上比肉眼里更明亮。这种差别的原因大多(纵然不是全部)是由于所研究的星的表面温度。太阳表面温度是 5 700 K，它的极大亮度在光谱的黄色区的大约 5 000 埃处。温度在 2 000 K 至 3 000 K 之间的星(大多是长周期和不规则变星)，它们的辐射大部分在可见光的红端，至于更冷的星(只有少数几颗肉眼才能看见)，它们所发出的辐射大部分在红外区。一个像恒星那样热的物体所发出最强辐射的波长，与其表面温度成反比(维恩定律)。表面温度比 1 000 K低的天体不发可见光。

即使在红外光源发现以前，由简单的推理也已能说明它们的存在。假设在空间某一特殊区域内计算各种类型的恒星数目，如果不讨论新近才从气体与尘埃云里发现产生热量的猎户星云区，我们便会发现空间里多数恒星是冷星，即表面温度低的红矮星或红巨星。这可能表示不能看见的星或一般照相底片不能拍到的星，是由于它们的温度过低，以致它们所发的可见光过于微弱，因而探测它们的唯一方法是在光谱的红外波段里去寻找。

探测红外光源比测定可见星的位置更困难，可是有两个方法为人用过。赫茨勒(Heteler)首先使用对红外辐射特别灵敏的底片，在叶凯士天文台 40 英寸折光望远镜上，成功地探测到几颗表面温度低至 1 000 K 至 1 500 K 的红外星。

诺吉鲍尔(Neugebauev)与莱顿(Leighton)制造一种红外望远镜(口径 62 英寸，焦距 64 英寸)。这种仪器基本上是一种环氧树脂〔环氧树脂是含有环氧基团的树脂的统称。为黏稠液体或脆性固体，可作涂料，广泛用做黏合剂，俗称“万能胶”〕涂在铝制的盘上，再在树脂上镀上一层

铝。这种仪器的重要部件是在聚焦处放上一个红外探测器，而且使它冷到液体氮的低温（—195.7℃）。

在地面上使用远仪器做观测，只能研究某些特殊的红外波段。上面我们讲过大气里的水汽吸收不少红端以外的长波，因此电磁波谱里只有几个极窄的区域，其透视度才大到足以使我们做有用的观测。红外天文工作者碰到的第二个困难是周围物体所发的红外辐射的问题。由于我们的眼睛完全感觉不到红外光，因而不知道它们的存在，只有身体接近发热的物体时，皮肤才感觉到近红外波段的热射线。我们可以根据维恩定律计算由物体发出的能量波谱的峰值。这一定律的表达式是能量极大值的波长与绝对温度成反比，即：

$$\lambda_{极大} T = 3\,000,$$

式内 $\lambda_{极大}$ 表示以微米计的波长，在这波长上辐射能量谱的分布达极大值，而 $T$ 表示绝对温度。由这个关系式容易算出与太阳表面温度为 5 700 K 相对应的波长的极大值为 0.5 微米(即 5 000 埃)。同样与一般室温(300 K)对应的物体所发射的能量的波长峰值为 10 微米，即在红外区内。这种情形可以比喻为一位光学天文工作者被迫在光天化日之下工作一样。

诺吉鲍尔与莱顿用一种巧妙的方法克服了这个困难，他们以匀速摇动红外反射镜面，这样便使地外的红外光源的像不断在红外探测器〔这种探测器上的主要元件是对红外光敏感的硅、硫化铅与锑化铟等〕上时隐时现，因而造成一种交流电。反之，背景辐射总是不断地照在反射镜的焦面上，因而提供一种不变的电流。利用适当的放大电路，可将后者消除，而使前者放大。

诺吉鲍尔与莱顿所选的波段是红外区 2.0 微米至 2.4 微米间的窄区。他们的巡天观测已经发现两万多个红外光源，并将其中 5 000 颗列为红外星表，这些光源里大约有 6 000 颗，与肉眼所看见的亮星大约相同。

**可见星与红外星的分布** 由诺吉鲍尔与莱顿所做的探测出现几个有趣的结果，特别是关于银河系的结构与大小。晴明无月的夜里肉眼所看见的天穹上，亮星的分布显然相当凌乱。这些亮星是在以太阳为中心以 3 000 光年为直径的球内的少数几颗。我们看见的暗星密集在银道面内，形成银河，中心在人马座内。自然，我们预料得到要找到的情况。亮星比较接近我们，而且不管我们向哪个方向望，视向上找到的恒星数目总是大致相同。暗星一般总是较远的星，在背银心的方向上显著地减少，在银心方向上显著地增多。三个世纪以前，望远镜将银河分解为无数星点以来，我们便知道以上所说的那些情况，使我们了解银河系形状与大小的真相。

现在我们发现红外星也有类似的分布。最亮的红外星在天穹上分布的凌乱情况与可见星相似，原因也是一样，即如果我们只考虑太阳附近一个不大的空间，银河系里星的分布基本上是均匀的。暗弱的红外源在银道面内的分布相当显著，特别是在银心方向上，这种现象比可见星更显著得多。这并不意味着这两组星有基本上的差异，很可能是由于红外天文工作者所看见的距离比光学天文工作者所看见的距离更遥远得多吧。

星际空间并不是一无所有，而是到处都有气体与尘埃。最近的研究表明星际物质的密度随银河系里的区域大有差异。在银河（或银道面）里星际气体与尘埃对于星光的吸收，在银心方向上，每千秒差距至少一个星等，背银心方向上，每千秒差距约半个星等。这种吸光效应对于红外星便大不相同。使用红外望远镜，工作在 2.0 微米至 2.4 微米的窗口上，很显然可以探测到比可见光所能观测的更遥远得多的恒星。自然，还有一个困难，即判别红色是由于近星的表面温度低还是由于遥远天体的星际红化。虽然这样，但这问题远不如目视观测那样复杂。

红外研究工作仍在努力进行，它使我们对银河系的大小与结构的认识已经大有进步。由红外观测求得银河系核心的直径在 4 000 秒差距（即 1.3 万光年）的范围内，与用其他方法所得的结果十分吻合。红外观测具有穿透银心方向暗黑尘埃云的能力，也提供直接的证据表明愈向银河系的外围去，星数愈是稀少这个事实。

可是还有一个问题，即几十年来天文工作者未能解决而希望红外技术去解决的问题，可是以上这些探测却未能提供一个答案。卡普坦（Kapteyn）与博斯（Boss）首先提出银道面内有两个星流，方向在猎户座与人马座内。1927 年林德布拉德（Lindblad）将这种效应解释为银河系自转的效应，以后由更细微的计算得出这种自转的周期在太阳附近大约是两亿年，而太阳大约在距离银心 3.3 万光年处。既知这些数据，人们算出银河系总质量的一个相当好的近似值。可是当我们把星际气体与尘埃的总质量和恒星的质量合并在一起，算出银河系里物质的密度时，发现这样得出的数字比根据与银道面正交方向的恒星运动所算出来的太阳附近的物质密度小。这表明太阳附近的物质约有一半没有被人探测出来，这被人叫做“行踪不明的物质”。

那么，这些行踪不明的物质究竟到哪里去了呢？除非早期计算里有某些极严重的过低估计，否则最可能的答案好像是在不能用目视或照相方法所探得的暗星方面。所谓暗星不是指那些生命已经结束、不发出任何辐射的物质团块。据我们知道的银河系的年龄和一颗典型星从诞生到死亡所经历的时间，可以估计这类星的数目不会很大。这些星可能是冷星，冷到它们的光谱里没有或很少可见光。因此前人认为银河系的红外观测可能

克服这个奇特情况，从而为我们提供这种冷星的数目，以增加恒星的总质量。虽然人们终于寻找出一些暗弱的红外星，但它们多在银心附近的暗黑尘埃云里，而且它们的总质量只是银河系总质量的很少一部分。这个问题仍然没有得到解决，直到伍利(Woolley)和他的同事们测量出比以前更暗的A型星的速度时，才明白有两类这样的星，一类比另一类具有更大的运动速度。根据太阳附近的密度的修改值加以计算，得出的结果才和从银河系里已知的一切物质推导出的结果相吻合，因而才明白并无所谓行踪不明的物质。

**原始星与行星系**　几十年来我们便已认识空间里有占据相当大范围的黑暗星云气斑。猎户座内的马头星云便是这种暗星云的一个典型例子，事实上，这种云状暗黑物质在银河系里分布很广。除了这些大团星云状物质之外近年来还发现直径不过一光年的球状体。这些小块星云状物质的密度似乎和它们的大小成反比例，而且引人注目的是在银河系多星区里发现的球状体比天空中少星区的球状体小些。由于它们不发可见光，而且很小，因此只有它们投射在弥漫气体星云(例如人马座内 $M_8$)的背景上，才很好地被衬托出来。

现今许多天文工作者认为这些球状体是在引力场与其周围恒星的强辐射压的综合效应下，凝结而成的气体和尘埃云——事实上，它们是恒星形成的第一阶段里的现象。不管它们的性质怎样，它们的温度必然很低，也许只有400 K至500 K，仅比沸水的温度稍高，因而它们的辐射只在红外波段内。所以它们是红外观测的理想天体，人们已经用几个波长去探寻过这种原始星。

天鹅座内的一团星云状物质(在2等星天鹅 $\gamma$ 附近)，虽然出现在对红光敏感的照片上，但在对蓝光敏感的照片上却隐匿不见。在2.0微米的波长上，这种星云团的亮度可和北天拱极星中最亮的织女星(天琴 $\alpha$ 星)相比。在2.0微米的波长上，它的亮度除了太阳和船底座 $\eta$ 星之外，比其他天体都明亮。关于这个奇特无比的天体的性质，现时还没有确定的结论。这个红外源的温度大约是1 000 K，似可列入长周期或半规则变星的较冷星(这些星的表面温度大多是1 500 K至2 000 K)中。可是精密测量表明这个天体所发出的辐射没有丝毫变化，显然它不是变星。

彭斯顿(Penston)提出在恒星形成的早期，凝聚的星胚(原恒星)周围有气体和尘埃云，这种星云团当然比星胚还冷。这个图案与这天鹅源可能吻合，虽然我们可能预料到它附近没有其他年轻的恒星，这种看法也许是有意义的，因为恒星形成的现今理论认为它们是集体地而不是单颗地形成。另一方面，这也可能是遥远处亮的热超巨星所发出的光，为星际尘埃红化所造成的结果。即使这个看法也遭到一些批评，迄至现今，事实上并没有观

测过这一类超巨星。

还有两个值得详细叙述的新近发现的红外源，一个是猎户星云内的点源，另一个是几十年前发现的麒麟座 R 特殊变星。前面那个红外源为贝克林(Becklin)用威尔逊山 60 英寸反光望远镜定出它的位置。由于它不发可见光，在可以拍到 21 等暗星的照片上完全没有踪影。它的辐射曲线的顶峰在 4 微米处，对应的黑体温度只有 650 K。

猎户星云内点源的红外辐射曲线，透过可见光谱区而来的辐射实在很少。这可能是原恒星，曾经过几个集体的研究，得到很有兴趣的结果。1968 年洛(Low)与克兰曼(Kleinman)用 20 微米探测这一区域，没有找到这个红外源的踪迹，但在它的位置附近发现与它分开的既大且亮的另外一个红外源。在 22 微米波上，这个区域的亮度差不多和肉眼所看见的月亮一样！进一步的研究发现这个扩展红外源的温度低至 150 K(即 −123℃)，而以上所发现的点源里具有发射羟基(即氢氧基)的特征射电波。这里我们简单提一下凡是有水之处常可找到羟基(−HO)。

自然，出现另外一个问题，即猎户星云里红外波的性质怎样？它可能是深藏在星云里的星，光线为它和我们之间的气体所红化，它的可见光在达到我们以前已经全部遭到散射与吸收了。它也可能是一颗很冷的正在尘埃云里凝聚过程中的原恒星。在这两个理论中，后者的可能性更大。如果这一物体是一颗藏在星云里的正常星，我们便可估计将它的光量削减到观测所须通过的尘埃的分量。这样算出的结果，是尘埃与气体层的厚度超过整个猎户星云的直径。如果这个红外源是一颗在形成中的星，我们便可对它的可能有的质量与直径作一些合理的假设，那么在几个世纪内(就天文尺度说，这是一段很短的时间)，我们应能寻找出它的温度与大小的变化。我们已经观测了著名的麒麟座 R 特殊变星半个世纪，积累了许多目视光变化的知识。这颗星的可见光变化无常，难于预料，一般列入御夫座 RW 型变量，而这颗星是很类似年轻并与暗星云气有联系的金牛 T 型星。它的光谱型与许多这类星的情况相同，它也和光量有变化的小星云物质有联系。有时这类星云的光变与这颗星自身的光变同步，但有时星光变化完全独立，而且随星的可见光微小变化而来的是红外与紫外辐射的很大变化，因而对于与这颗星有联系的星云物质的亮度产生显著的影响。

麒麟 R 星的视星等在 10.0 至 14.0 的范围内变化，一向没有人观测到这颗星有什么异状，直至 1966 年门多萨(Mendoga)发现它的光谱内 3.8 微米处有另外一个更高的峰。这个发现使我们对麒麟 R 星的性质应加以根本的重新估计。以前根据可见光谱估计其表面温度大约是 5 500 K，因而很类似太阳，现在认识它的辐射大都是由红外区而来，这会将

以前的估计大大降低到 750 K 的区域。可是需记住这颗变星的特殊性质，正如洛与史密斯所指出的，它可能是周围有吸收短波而再发红外长波的尘埃云里的一颗很年轻的星。有迹象表明尘埃云的形状并不是球形的壳，而是在星的赤道面上的一个圆轮。由光谱的研究没有发现从圆轮吸积物质的迹象，事实像是相反，这可能是一个在形成中的行星系的现象。这是一个相当合适的看法，因为金牛 T 型星（作为一类变星而言）是最年轻的一类恒星，几乎可以确定它正处于演化到主星序的过程中。

现今天文界一致承认恒星（太阳）是由大范围（以秒差距计）的气体和尘埃云凝聚而形成。目前最显著的研究进展是从红外观测探查出一个惊人的例证。洛和克兰曼在猎户星云里观测到的一颗红外星，它的温度只有 700 K（即 427℃）。他们还在 22 微米波长上发现一个直径 30″的星云，温度只有 70 K（即 −203℃）。由此可见拉普拉斯设想的星云，终于会为人们直接观测到。

**银河系的中心**　结束红外天文学的讨论以前，必须考察一个特殊的研究领域，这是说明银河系和邻近星系的结构（特别是密集的中心区）的极其有力的方法。已经讲过，气体和尘埃吸收红外辐射比吸收可见光少得多，因此我们可以利用这个性质去观测银河系核心的精细结构。

由几个星系的照片确定它们的中央区有高度密集的核心，即那里的恒星比外围的恒星密集得多。这里，我们从外面观测别的星系，自然处于比较优越的位置。对于恒星堆积的特别细密的核心，我们不可能将它分解为个别的星，还有几个别的理由使早期的研究者相信事情就是这样。我们洞察自己所在的银河系，由于大量的尘埃与气体的消光，便完全不可能用可见光的波长深透到银心去。

几年前从另外一个方面对这问题获得一个初次的突破：射电天文工作者在人马座发现一个极强的射电发射源，根据恒星运动的研究，这个射电源差不多恰在银河系的中心。接着贝克林在差不多相同的位置上发现一个微弱的红外源，诺吉鲍尔与莱顿用红外区各种波长研究了这个特殊天体，对于银心附近的恒星分布得到不少有用的知识。X 射线爆发时有时从 26 个外围电子中失掉 24 个铁原子，这表明耀斑的温度可以高达 5 000 万开(K)，即耀斑聚变释放巨大能量，许多理论工作者认为这是由于强磁场所引起的作用。

天体物理学工作者据理论计算从其他可能的来源发出的 X 辐射之量，断定从太阳系以外而来的 X 射线都太微弱而不能为一般火箭上的仪器探测出来，因此早期的探空火箭未能查出新的 X 辐射源。1962 年 6 月从新墨西哥州白沙导弹场发射出一个载有仪器的火箭，才在银心的方向上发现一个异常强的 X 射线源。这个火箭以后的飞升不但证实了

这个 X 射线源的存在，而且还在天空发现另外 50 多个 X 射线源。从这些源而来的 X 射线都有料想不到的强度与性质，使理论家为产生这种辐射机制建立了新的假说。我们起初认为 X 射线是从超新星遗迹里异常密集的中子星而来，但在 1964 年与 1972 年月掩蟹状星云时测量其中 X 射线源的角大小时，证明它是一个片源而不是点源，因而中子星是 X 射线源的假说不能成立。同时出现了中子星的改进理论，说明从中子星而来的辐射，生命异常短暂，于是才知道蟹状星云的 X 射线是从那里的气体星云自身所发出的同步加速辐射，即高速粒子在强磁场内运动所产生的辐射。

一个形态极复杂的伸展红外源（也许是由于暗黑物质的密度变化，而不是辐射自身的变化）之外，那里还有一个很小的点源，假使这小点源在银心处，其直径当不会超过 1/3 光年。

虽然这红外源的范围很小，但它所发出的辐射却超过 25 万个太阳的辐射，情况与新星爆发相似。事实上，很少有恒星能够发出这样巨大的能量，只有剑鱼 S 星和类似新星的变星船底 $\eta$ 星可以与之相比。有人认为这个特殊天体不是单颗星，而是一个极微密的星团。这样便可克服假设有这样奇特天体存在的问题，但又陷入另外一个严重的困难。假使有 25 万颗像太阳那样的星密集在这样小的范围内，便可能产生很多碰撞，于是这种星团的寿命便会比我们现在知道的银河系的年龄短促得多。因此我们还很不能肯定这个奇异的红外源究竟是什么。

红外技术的应用无疑会为天文学提供有关银河系与散布在可见宇宙的较近区域里类似星系的结构的信息。目前这项工作的重要意义特别在新发现的类星体与寒菲尔特殊星系研究中得到较好的认识。更有价值的数据必然会积累起来，从而澄清恒星的诞生与消逝的问题，因为恒星演化的这两种极端，据红外光比据可见光的观测更有启发作用。

**紫外天文学**　可见光谱的另一端属紫外波，刚才讨论过的红外辐射的波长比这种辐射长万倍。由于多种原因，达到地面的紫外辐射在强度上比红外辐射还低。在太阳系内，太阳是可见光，同时也是紫外光的主要来源。首先，我们须了解太阳里各种辐射的成因。多数热核反应在太阳核心深处进行，那里所造成的能量许多是 $\gamma$ 射线型的辐射。它们的波长很短，因此能量很高。例如 $\gamma$ 射线的一个量子释放的能量比可见光的量子能量大几百万倍。以前讲过，这种能量洪流的路径是向太阳表面传播，其方式起初是辐射，接近光球时便成为对流。人造卫星“探险者十一号”载有 $\gamma$ 辐射爆发记录器，以测量太阳发出的 $\gamma$ 射线的强度。对于地上的生命而言，幸而从太阳发出的 $\gamma$ 射线很少，而且从太阳中心以这种形式发出的巨大能量，在通过太阳光的旅程中已经发生了变化。

促成这种变化的唯一方式是$\gamma$射线与太阳里原子间的碰撞。如果$\gamma$射线撞击一个原子，其能量足够敲掉原子最里层一个电子的话，那么太阳一般发出X射线型的辐射，其他类型的辐射也可能出现。如果里层电子被掀到外层轨道而不致使它离开原子，则当这电子复返回原来的轨道时，便发出较长波的紫外辐射。同样，原子内能量较小的跃迁产生可见光，能量更小的跃迁产生红外光。以射电波的形式出现的很长波的辐射，一般不因原子内的跃迁而形成，其成因主要是由于电子自身与磁场间的相互作用。因此我们可以想象这些碰撞使太阳表面发出各种类型的辐射，实际上是当能量从核心直达外层之际，整个原来的$\gamma$辐射转化为较长的波。这不等于说，这是造成这些辐射的唯一机制。光球层上的太阳大气可分为两区。下面一区高出光球一万千米叫做色球，更外一区便是日冕。考察太阳大气的方法，更合适的是使用火箭与卫星，由此发现色球发出可见光之外还有相当多的紫外辐射，而日冕则发出更多的X射线。

若只初步考虑太阳大气的温度或内部的热核反应，这便是一种预料不到的奇特结果。为了认识太阳大气怎样会有这些特殊类型的辐射，我们须研究太阳这一区域温度的含义。光球上大约2 000千米的厚度里温度大约是5 700 K，与光球本身的温度相差不多。光球上3 000千米处的温度略高于7 000 K，再升高1 000千米，温度便达到25 000 K，直到可能探测到的最外极限处，便会超过100万开(K)。显然，这里所用的"温度"一词的意义和我们用以描述太阳内部的情况不同。如果太阳大气发出100万开(K)的辐射，则整个太阳系将在这辐射的洪流里化为灰烬。

我们说日冕的温度是100万开(K)，这是指"运动温度"，是计量个别原子运动速度的一种指标。例如星际空间的一个氢原子，运动速度可以高达每秒几千千米，使它得到高达100万开(K)的运动温度，但这颗原子的辐射温度(这是与我们所熟悉的地面热体相同的一类温度)可能接近绝对零度。重要的一点是太阳大气里的这些高速度可以使原子内的两粒子发生碰撞，正和太阳内部的情况相似；在低层运动温度相当低，造成紫外辐射，而在高层造成能量较大的X射线。

以紫外光拍摄的太阳照片表现出一种奇异斑点的表面，我们知道大部分紫外辐射与黑子特别是与耀斑有联系。耀斑常与黑子同时出现，而且常在两个或多个黑子之间的日面上。耀斑是一种短暂现象，很迅速地形成，几分钟后便又消逝。由于黑子处于强磁场活动区，所以有人认为耀斑是一种电磁现象。除可见光外，耀斑还发出紫外辐射与高能X射线，它们都以光速在空间传播，只需8.31分钟便达到地面。

当这些辐射爆发并撞击地面时，它们使气体电离，特别使电离层最低的D层里的气体

电离，因而使长波的辐射不能透过，但对于通信用的短波射电是透明的。因此，短波进入上空，扰动了地面大区域范围内的通信。

升高火箭和轨道天文台用紫外光拍照的星象得到一些有趣的结果。凡是比 B 型星晚的恒星差不多出现在这些照片上，但是质量大而明亮的沃尔夫-拉叶星（O 型）和猎户座内表面温度超过 25 000 K 的某些恒星（例如猎户星云便是一个很强的紫外源），它们的辐射大都在紫外区，因而都被拍摄在这些照片上。

**天文人造卫星上的紫外观测** 自 1967 年以来已经发射了几个轨道天文台（简称 OAO），例如 1968 年 12 月 7 日发射的 OA2 Ⅱ 号，在高出地面 772 千米的圆周轨道上运行，携载有十一座薄壳望远镜，其中三座的口径是 40 厘米，四座是 30 厘米，四座是 20 厘米，质量总共约 1 000 磅。这个外空天文台对于太阳和恒星发来的从来没有穿过地球大气的紫外辐射的观测，已经取得不少的成就。

OA2 Ⅱ 号发射后的 5 个月内，已经对 5 万颗恒星系统地做了紫外辐射的测定，其中百分之一恒星的紫外辐射比预期要亮 6～40 倍，例如年轻的昴星团的成员在紫外波段比由红端推得的明亮 3～6 倍。虽然紫外天文学尚在幼稚时期，但天文工作者已经预见它将解决许多基本问题，例如恒星与星系的诞生、成长、衰老以至死亡所经历的过程。此外，紫外观测的数据还使我们了解几年前发现的最遥远且最明亮的类星体和有规律地发射脉冲波（频率自几秒一次至一秒三十次）的脉冲星的性质与机制。

对外空的紫外辐射的观测也同样适用于河外星系和某些特殊天体，如气壳星、磁星、特殊变星、行星状星云、超新星遗迹（如蟹状星云）、类星体与塞弗特星系（即有明亮星状核的正常星系），从而获得一些以前未曾料到的有关天体淡化的知识。

**X 射线天文学** 太阳是首先被火箭上的仪器探测出它光谱里有 X 射线波段（0.1 埃至 100 埃）的天体。“空蜂号”探空火箭所拍摄的 X 射线照片给予天文工作者以有关日冕结构的大量知识（以上讲过日冕发出大量 X 射线）。至于太阳内部所产生的 X 射线大多不能逃逸到太阳的表面来。由耀斑和日冕里产生的 X 射线容易逃到空间，像刚才讨论过的紫外辐射，也在地球大气里造成相同的效果，即能够使气体电离。随耀斑出现于日面的射电爆发已经被射电望远镜与人卫探测出。

1966 年 3 月 8 日的一次火箭观测使我们对 X 射线源的性质又得到进一步的了解，即在南天银河里测定了一个强 X 射线源天蝎 X-1 的位置与大小，并且证认为一颗 13 等的蓝星。这个发现最使人兴奋的是，这颗星所发的 X 射线的能量比可见光强 1 000 倍，这是天文工作者在对各种恒星的研究上从来没有料想到的现象。后来更有迹象表明天蝎 X-1 发

射的能量等于太阳全部电磁波的能量。怎样解释这种X射线能量的巨大输出呢？虽然还没有天蝎X-1的公认模型，但确定它绝不是中子星。可是，关于中子星存在的广泛意见已经是天文工作者采取的一种研究假设。1967年休伊什和他的同事们便在以闪烁方法寻找类星体的射电望远镜里发现了第一颗脉冲星，接着这颗星便被认为是正在寻找的中子星。至于对银河系里X射线星和X射线新星以及银河系内与河外星系里X射电源的观测与研究，以后我们还会谈到，在这里只谈天鹅X-3的大爆发。

1966年新生的X射线天文学发现了天鹅X-1。自那时以来这颗星便以其特殊性质引起天文学界的注意。天文工作者使用专门观测X射线天体的乌黑鲁卫星上的望远镜，对它进行仔细观测，发现它的光谱有吸收效应。另一方面，其X射线的强度作有规则的变化，周期为4.8小时，无疑这是由于这颗星按这个周期旋转。1972年夏季莱顿天文台发现天鹅X-3附近有一些很弱而变化很大的射电波，这是X射线发射体极不寻常的性质。1972年9月2日，加拿大多伦多大学射电天文台以口径42米的大型射电望远镜指向天鹅X-3时，在3厘米波长上记录到一个信号，比三天前所观测到的信号增强了1 000倍，这是否是一颗新星的爆发呢？这个消息立刻传播到全世界，在一天内八个国家的天文工作者都把他们的望远镜瞄准这颗新星。

加拿大人发现它时，天鹅X-3已经过了它的3厘米辐射的极大强度，但用较长波的观测者还能捉住它爆发的上升阶段。例如根据英国焦德堤所提供的数据，在73厘米波长上的亮度在9月7日才达到极大。这个峰值以后，射电波的强度作指数函数的衰减，正和放射性元素铀那样衰减一样，不过这颗星的半衰期（或半生存期）只有27.5小时罢了。这段时间表明这个爆发的天体不会比以300亿（$3\times10^{10}$）千米为直径的区域大，即说明它的生存不会比一天内光所走的距离长。这种巨大爆发很像太阳的短暂爆发，只是天鹅X-3发出的总能量远远超过太阳罢了。9月12日天鹅X-3已经不能被人探测出来，好像它已经归于平静，但是远射电源忽然于9月18日再度活跃，在3小时内其流量密度一下增加了45%；以后继续上升，于9月27日达到峰值，其强度比第一次爆发还高，而且在9月27日最后消逝以前还出现几个峰值与谷值。

理论工作者目前还在探讨天鹅X-3大爆发的原因。这是一颗新星的诞生呢？抑或这种爆发表现了演化终结时一颗死去的星的“痛苦呼号”呢？不管怎样，在天文工作者眼里，这个观测到的现象是1967年脉冲星发现以来最轰动的一桩天文事件。

**宇宙γ射线源** 天文工作者对于空间电磁辐射的探索，逐渐推到愈来愈短的波段时，便会达到“硬”X和γ射线的假定界限，即波长约为1埃的辐射。由于地球大气受宇宙线

的撞击而发出强的γ射线，因此对由空间而来的这种辐射的探索，只能从升高到大气层上的气球或人造卫星上去做这种观测。探测仪器叫做“γ射线望远镜”，主要是由两个部分所组成的：一个厚的塑料板，在γ射线的撞击下而闪烁发光，另一个是火花室，记录高能量γ射线物质的化学反应所造成的正负电子对。另外还用特殊装置以保证这种记录，只是记录这种电子对而不是别的粒子。1967年至1968年间几群物理工作者在大气顶附近探测出比较弱的γ射线流。这流量大部分是漫射的，这意味着这些辐射是从空间四面八方而来，来源可能在银河系以外，其中一部分可能从银道面（特别是银心方向上）而来。同时，他们也探测出几个γ射线的个别源，如银河系里的蟹状星云与射电星系室女A河外源。虽然向地球来的γ射线光子率很小（每平方厘米每分钟还不到一个光子），但它的每个光子具有很大的能量（约10万电子伏特）。因此，例如从室女A源而来的γ射线和X射线的总能量可能超过从同一辐射源而来的射电波段的能量。在将来的年代里，对宇宙里这些最短的电磁辐射的进展迅速的研究所得来的新知识，显然具有基本的重要意义。

# 第八章

# 新型的河外天体

## ◀ 奇特的河外天体:类星射电源 ▶

自 1947 年第一次在天空发现了射电源之后,射电天文学便表现为突飞猛进的发展形势。今天所知道的这类天体已有数千之多,射电天文学家的一个努力目标,便是将这些射电源和用光学望远镜观测到的天体加以一一对应的确认。由于这些天体一般都很暗弱,这种确认工作有相当大的困难。原来射电望远镜的分辨力差,在其可能达到的极限误差之内,有不少暗星可能作为一一对应的目标,因而在它们之间难于作出确认。但是这几年来,对射电点源的方位的测定有了很大的进步,确认工作日趋完善。据统计,方位经过精密测定的射电源,其中 80%都可以和帕洛马山 5 米口径的望远镜所拍照的暗弱天体相对应。

这些射电源只有少数是我们银河系里的成员,如超新星的遗迹与银河星云,原来这些天体是容易从它们角范围的广大与距离银道面的接近而识别的。大多数射电源是银河系以外的"射电星云"。它们一般是椭圆形的巨星系,本身特别明亮,而且具有很强的发射谱线。这些谱线常由于受了星际物质的激发而发射,但银河系里的恒星很少发出这类谱线,即使发出也很微弱。

由此可见,射电天文观测技术的改进,为人们在宇宙里开辟了许多新的境界,但最奇特而没有预料到的便是所谓"类星体"或"类星射电源"的发现。这些遥远的天体表现在照片上,一般是 16 等至 18 等蓝色小星点,但是经过研究以后才明白,它们是宇宙里发射能量最多的天体。比正常星云小得多,但却明亮 100 多倍。它们发光的寿命可能很短暂,而且亮度有不规则的变化。它们物理性质的极端情况,是以前我们所没有遇见过的。

类星体的发现需用灵敏度很高的射电望远镜。它们的方法与强度已经发表在几张射电星表之内，最完善的一张是《剑桥射电源第三星表》（简称 3C，现已修订为 4C）。读者知道，我们对射电源的方位很难测定到较高的精确度，这是由于射电波远比光波长，对于一定口径的望远镜来说，分辨力或方位测定的精度是与波长成反比的〔例如 15 米口径的抛物面天线，工作在 21 厘米波上，分辨力只是 47′，而 5 米口径的光学望远镜对于可见光，可以分辨到 0″.023〕。在 3C 表内，观测误差在赤经为±1 时秒，赤纬为±1 角秒。由于使用巨型射电干涉仪，射电源的方位在赤经、赤纬上都可以测到±1 角秒。用月掩星的方法也可以把一些射电源的方位测定得相当精确。这些比较精确的方位为光学天文工作者提供了很大的便利，他们便可在这些区域的照片上对这些射电源加以光学的确认。例如，3C 内有精密方位的射电源 88 个，其中 84 个都在帕洛马巡天照相星图内找到了和它们相对应的河外星云。

所谓类星体并不是和一般正常星云对应的射电源。首先被人发现的这种新型天体 3C48，在照片上是一颗微弱的星点（16.2 等），周围有一点儿暗淡的星云气，因而绝不像是一个星云。它的光谱具有很特殊的性质：在很强的连续背景上，重合几条强而宽的发射谱线。由光度观测得知，这个类星体的颜色异常之蓝，发射大量的紫外波。这光谱与爆发后的新星的光谱相似，但与正常恒星的光谱大不相同。天文工作者想尽了办法去分解类星体的组织成分，但没有获得成功。

3C48 的光谱拍到之后，人们没有办法去确认其中的谱线。后来有人想到，如果 3C48 的谱线有很大的红移，便可以使它和行星状星云的谱线对应起来。进一步研究才发现，表达 3C48 的谱线红移度的经验公式，与多普勒效应相符合：

$$z = \frac{d\lambda}{\lambda} = 0.367,$$

式内 $z$ 表示相对红移度，$\lambda$ 表示波长，$d\lambda$ 表示波长的位移。由此求出可见区里波长的红移度约为 1 000 埃。这就说明，为什么起初人们难于认识这些谱线的原因。这种多普勒位移的正确性，后来在红外区的观测和在其他预先算出的谱线中得到证实。

自从这个射电源成功地证实为类星体之后，人们又找到几十个这样的天体（见下表）。由于类星体发射异常多的紫外线（“紫余”），因而很容易被拍摄到照片上。我们对于每个有嫌疑的类星体，可在它所处的方向上拍照两次（或用双筒望远镜同时拍照），使用两个滤光器，一个滤掉紫外波，一个让紫外波单独通过。凡是具有“紫余”的天体，显然与正常恒星或星云不同。现在把几个类星体第一批分光、光度和射电三种观测的数据，表示如下表所示。

**类星体表(1964年4月发表)**

| 名称 | 方位(1950) | | 星等 | | | 红移度 | 绝对星等 | 射电 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 赤经 | 赤纬 | V | B—V | U—B | z | MV | 通量 | 直径 |
| 3C9 | 0时18分 | 15°23′ | 18.2 | 0.23 | −0.74 | | | | 16 |
| 3C15 | 0时35分 | −1°31′ | | | | | | 22 | 4″ |
| 3C47 | 1时34分 | 20°42′ | | | | 0.425 | −23 | 27 | 8″ |
| 3C48 | 1时35分 | 32°55′ | 16.2 | 0.40 | −0.58 | 0.367 | −25 | 50 | 0″.7 |
| 3C147 | 5时39分 | 49°51′ | | | | | 0.545 | −25 | 63 |
| 3C196 | 8时10分 | 48°22′ | 17.7 | 0.60 | −0.40 | | | 66 | 12″ |
| 3C216 | 9时 6分 | 43°7′ | 18.5 | 0.49 | −0.60 | | | 24 | |
| 3C245 | 10时40分 | 12°20′ | 17.3 | 0.46 | −0.82 | | | 12 | |
| 3C273 | 12时27分 | 2°22′ | 12.7 | 0.17 | −0.89 | 0.158 | −26 | 79 | 0″.7 |
| 3C286 | 13时28分 | 30°40′ | 17.3 | 0.26 | −0.91 | | | 30 | 20″ |

该表内V表示为可见区视星等,B为蓝星等,U为紫外星等,射电通量是用159兆周波测定的。我们现在试用表内的数据去研究类星体的物理性质。本章内曾讲到哈勃的红移定律,即星云的视向速度与其距离成正比例,比例常数$H$约为每100万秒差距100千米/秒。试根据这个红移定律,借多普勒效应,求出视向速度,并去计算类星体的距离$d$:

$$d = Cz/H$$

式内$C$表示每秒30万千米的光速。当$z$为小数时,这公式久经考验是正确的,可是当$z$近于1时,我们便应当使用根据相对论推出的另一公式。在极限的情形(即星云以光速离开我们时),在上面公式里取$z=1$,便可知道我们可能观测到的宇宙的半径为30亿秒差距,即$9.78\times10^9$光年或约100亿光年。

由表内$z$的数字可见类星体射电源距离我们非常遥远。3C147的$z$为0.545是1964年年初找到的最大红移,其距离据上面公式计算约为50亿光年。将这个距离和视星等联系起来可求出类星体的绝对星等MV。上面讲过,仙女座大星云(M31)是最亮的正常星云,其MV为−21,由表可见,类星体是宇宙中最明亮(即光度最大的)的天体。例如,3C273(MV为−26),比M31还亮100倍,比我们的银河系要亮200倍。

可是类星体的范围却不比正常星云大,否则人们便会把类星体的组织成分分解出来。它们的视直径的极限约为1角秒,这意味着它们的线直径小于5 000秒差距,即小于银河系的直径的1/6。从光度观测得来的数据更需对它们的直径加以限制,因为许多类星体的视星等是做脉动式的变化的,光变周期约为1/4年至1/2年。因为物质扰动的传播速度不能超过光速,所以类星体的辐射大部分应当是从直径1/4光年至1/2光年的范围而来的。

综合以上两节的结果，可见我们观测到一个料想不到的奇特现象：整个正常星系的辐射的 100 多倍，是从一个不到 0.1 秒差距范围的天体发出。这样不难算出类星体每秒发射的能量为 $10^{46}$ 尔格（太阳的发射率为 $3\times10^{33}$ 尔格/秒）。要从原子核反应取得这样大的能量，即使可能，也不知道是遵循何种方式。近两年来（1963—1964），科学界为这个奇特的疑谜曾举行了几次国际学术会议，但迄今没有得出定论。有人主张，这样大的辐射能量可能是由质量庞大的天体（是太阳质量的 $10^5\sim10^8$ 倍）的崩溃而来的。如果我们采取物质崩溃为能量的假设，则类星体只能有极短暂的存在。根据不同的假设，长者不过 100 万年，短者只历 1 000 年便消逝了。

类星体的光谱线大多是由禁戒跃迁而来的发射谱线。这也许表现了形成其连续光谱的是极致密的核心部分，外面围绕有庞大而稀薄的大气，质量比核心部分还多。顺便有趣地提一句，类星体既然发出大量的紫外辐射，星际物质（主要是氢）一定会大量电离，可能使宇宙里的物质趋于全部电离化。总之，这种能量高、辐射强、光度大的河外天体的发现，不但开拓了我们前所未认识的宇宙的范围，而且为天文观测与理论提出许多最有意义的课题，无疑是 20 世纪天文研究上的一个重要成就，而将在对宇宙的结构与了解上表现出无比巨大的作用。

## ◀ 又一种河外天体：类星星系 ▶

1965 年 6 月，天文工作者又发现一种新型的河外天体——类星星系。它们和类星射电源一样，看上去是点状天体，所以同样叫做“类星”，但两者有一些重大的差别。首先，类星体是强的射电源，而类星星系在无线电波段里发出的能量很少；其次，类星星系要比类星体多，前者约为后者的 500 倍。现代巨型望远镜能观测的距离内，类星星系约有 100 万个之多，所以它们是宇宙里为数不算稀少的成员。这种新型天体发现的经过是值得叙述的。自从类星体发现以后，有些天文工作者一直在继续寻找这种类星射电源。在寻找过程中，他们发现一些天体很像类星射电源，但却不发射无线电波。天空中有一些蓝星，人们一向认为它们都是银河系里的成员，但它们的位置却不在银道面内。一位天文工作者便怀疑这些蓝星中可能有一些就是类星体，于是对它们进行了研究。他用不同的滤光器对这些蓝星做了三色光度测量，发现它们是很富有紫外波的类星体，因此他便用巨型望远镜进行光谱观测。根据谱线的红移证明，有些蓝星确实是遥远的类星星系，而不是银河系里的普通恒星。至此，遥远的河外天体已可按照发现的先后顺序被分成四个主要类型：

(1) 普通星系——是巨大的恒星集团。每一个具有几百亿乃至上千亿颗恒星。它们是河外空间里最多的一种，现今最大望远镜里能够观测到的数目在10亿个以上。

(2) 射电星系——各种星系发出或多或少的射电辐射，其中发出射电能量最强的，叫做射电星系。用光学望远镜观测时发现，它们形状特殊，好像这些星系里发生了某种巨大的爆发一般。

(3) 类星射电源——发出比射电星系更为强大的射电能量，而且比普通星系的光度更大，但它们比普通星系小得多，所以叫做类星射电源。

(4) 类星星系——看起来像类星射电源，但不发射强大的射电辐射，而只发出很强的蓝光和紫外光。这四类天体之间很可能存在着演化上的联系。有人认为，后面三种是普通星系的演化过程的重要阶段。也许类星射电源只是类星星系发出强烈无线电波的一个短暂阶段，而射电星系又可能是普通星系的一个过程。然而，星系演化的问题和50年前所提出的恒星演化问题一样，现时还在初步探讨之中，因而在天体物理学里成了最有挑战性的课题。总之，近年来人们在星系中央区所发现的巨大爆发现象，与50年前旋涡星云被证明为河外星系有着一样的重要意义，且为天文工作者开辟了广阔的前景。

## ◀类　星　体▶

类星体的发现是20世纪60年代天文学上最令人兴奋的一件大事。到今天我们还不明白它们的真实性质，可是它们无疑是具有重要意义的天体。

前文讨论的强射电源，有些在银河系内，如银面内的电离氢气云（HⅡ区）以及银心方向上的射电辐射、超新星的遗迹、中性氢的21厘米波（HI区）。我们现在把这一研究扩充到另一类新型天体，它们给予天文学和物理学工作者以很多难题。我们不但还不了解它们的性质，即使解释观测到的现象，也引起不少的争论。这些天体正式的名称是“类星射电源”，常简称为“类星体”。

迄至1970年，射电巡天普查共发现了大约1 000个射电点源。现已达数千个之多。其中几个，即使在大望远镜长时间拍摄的照片上，也没有与它们对应的光学天体。这个问题的一大困难是射电观测所决定的点源的方位相当粗糙。原来在分辨力上，射电望远镜远比光学望远镜低〔例如15米口径的抛物面天线，工作在21厘米波上，分辨力只有47′，而5米口径的光学望远镜对于可见光，可以分辨到0″.023〕，因而前者难精密地定出射电源的方位，于是在繁星点点的照片上便难肯定地证认出和它对应的光学天体，除非它附近有特殊天体，例如强射

电的发射体、暗星系或与超新星遗迹联系的气体纤维。天文工作者关于精密地测定类星体的方位,曾提出几种方法。第一是利用月掩点源的方法。自然,这只能应用于白道面附近的类星体,因而能够定出的对象为数很少。可是这种方法有一优点,由于我们利用月面的边缘作为衍射的脊棱,因而这种观测对于这些射电源的直径提供详细的知识。即使射电源相当小,也可从衍射图求出它的直径,这种方法的极限精确度为1角秒。

1962年澳洲帕克斯(Paikes)天文台的63米口径可转动的射电望远镜,利用三次月掩的方法,定出一颗很强的类星体3C273(即M87或NGC4486)的极精密的方位。射电源被剑桥天文台编制成射电星表,这颗类星体的名称为3C273,便是在剑桥第三射电星表中的273号。这个类星体在室女座内,曾经被相当于136兆周波、410兆周波和1 420兆周波的三个波长所观测过。更由射电条纹证明,这个类星体是双重射电源,中间相距约19.5角秒。

既知类星体的精密方位以后,便可在5米口径的光学望远镜所拍摄的那一区域的照片上仔细检查,以证认出与3C273对应的光学天体。于是求得与这颗类星射电源最接近的天体是一颗星等为12.6的星,而且从这颗星伸出一条纤维状的星云。

**类星体的奇特光谱** 和处理奇特的恒星与河外天体一样,当其方位相当肯定之后,首先要做的便是拍摄它的光谱,因为光谱分析在决定天体的物理性质上总是很有价值的,可是3C273的光谱和从前所知道的大不相同。它的蓝色区里有一连续光谱,上面重合有几个宽的发射带,而这些谱带不能证认为已知的发射谱带。

现今对于这现象的解释是这些谱线上有很大的红移。这一假设的红移$\Delta\lambda/\lambda$($\lambda$表示无位移时的波长,$\Delta\lambda$表示由于红移使波长增加之度)为0.158,这样便可使六条发射线证认为氢的巴耳末系里的谱线、单电离的镁和双电离的氧的禁戒谱线。在这些研究以前,另外一颗类星体3C48(这是用射电干涉仪首先精密测定其方位的类星体)曾被格林斯坦等人做过分光的研究。它的光谱和3C273相似,但由于这些谱线比熟知的巴耳末系谱线强,因而得不到证认,可是以后证明这是由于为较高的激发离子所造成的大红移现象。这为3C273以后的研究,提供了证认这些谱线的线索,要使3C48的谱线线和观测到的巴耳末系重合,必须假设它们具有更大的红移度,即均为0.368。

由此可见,类星体的一些光谱已经经过研究,而且发现其中谱线具有异常大的红移,表明它们确是很特殊的天体。奥克(Oke)曾经由对3C273的红外光谱的研究,证实由可见光谱得到的结果是正确的,现在对于这些红移已经没有什么怀疑。

当前的问题是寻找这些大红移和与其貌似的恒星之间的关系。仅就我们所知道的而

不另立新的物理定律去讨论，形成这种大数量级的红移，可能有两个原因：1°类星体在银河系内，其附近的恒星有特大的引力场，因而在它的谱线上造成引力的红移，或 2°类星体是异常遥远的奇特天体。

现在分别研究这两种可能性。我们知道宇宙空间里确实有超密星，例如下一节要讨论的脉冲星是由超新星遗迹坍缩而成的中子星。如果假设类星体是中子与类似的重粒子所构成的超密天体，我们便在分光研究上遇到困难。我们已经看出，类星体的光谱内有容许与禁戒两种谱线，它们皆有相同的红移，不过其宽度只是波长的一个小的分数而已。据谱线位移的引力效应理论，观测与计算发生矛盾，或者对于不同的谱线应找到不同的红移，或者谱线的宽度应比观测到的情形大些。若认为类星体是很远的天体，便意味着红移的性质是宇宙性的，换句话说，即这种谱线位移是和类星体的距离与退行速度之间的规律是有关的。就一个特殊的射电类星体 3C295 而言，它的退行速度大得惊人，达到光速的 36%。至于 3C273 与 3C28 表现的退行速度分别是 47 400 千米/秒与 110 200 千米/秒，这样它们的距离便分别为 5 亿秒差距与 11 亿秒差距。

迄今我们还没有谈到和类星体有关的主要问题，即它们的视星等与射电星等（射电亮度）。据 3C273 的距离与由月掩星的方法所测得的视直径算出，它发出极大部分射电能量核心区的线直径约为 1 000 秒差距。

最远的一个类星体 3C48 的绝对视星等达到－26.6，已超过最亮的巨型椭圆星系（绝对视星等为－22.7）。就射电频谱里发射能量而言，3C48 所发射的能量与最强的射电源大致相似，例如天鹅 A 所发射的。将小望远镜里看得见的视亮度（星等为 12.7）和距离相同处的星系的视星等比较，便不难知道为什么有些天文工作者对于类星体的红移，提出另外一种解释。虽然他们也同意大红移是由于退行速度所形成的，但是他们却认为类星体在银河系附近，以适合它们的很高的亮度。于是他们主张很高的速度是由于类星体的多次爆炸（类似宇宙形成时，"原初原子"的大爆炸）而来的。但是这种唯心的思想应受到严格的批判。假使这些爆炸在比较近期发生在银河系内，这些星的运动方向便应是随机的，至少其中一些应向我们而来，它们的谱线应有些是蓝移的，而事实上并没有观测到蓝移。其次，我们不明白有什么机制能使寻常的星发出这样强的射电辐射。虽然有少数像类星体的天体发出很少（或甚至不发出）射电辐射，但大多数类星体是强大的射电源。

现时大多数天文工作者承认类星体是遥远的天体，一个典型的类星体发出的辐射的规模显然是相当惊人，远远超过现今所知道的宇宙里的任何天体。还有什么天体可能发出这样大的辐射洪流？而且同样重要的问题是，还有什么方法使类星体只有这样小的一

个发光区域呢？

我们首先讨论后面这个问题，某些观测提供至少一部分的解答。这几年内发现的许多类星体中大多数都有强的射电辐射与光谱线的大红移。由对这类天体的广泛研究，发现其中一些的亮度不稳定，而且有显著的起伏变化，光变周期自几月至一年或一年以上。这是一个异常重要的观测事实，因为它立刻告诉我们类星体发光区的最大直径，而且由类星体的光谱得知它们不像正常星系的核心是由许多亮星（即便是蓝巨星）所组成的。产生可见光的区域像是有相干性的，这是说在其整体内物质结构大约是均匀的。因此，假使取极端的情形而论，光变起源于类星体上离我们最远的一部分，那么光线的起伏变化必然以光速通过类星体的整个质量，于是由此算出的最大直径当在几个光月与一光年之间。可是，这样推出的直径还远远小于格林斯坦等人对 3C48 由月掩星的方法直接测量所推出的结果，即光学与射电辐射产生于约 5 500 秒差距的直径范围内。于是我们必须区别输出量不变的光源连续区域与输出量可变（因而可能较大）的射电辐射源。从这样小的天体发出来的异常强大的光辐射，可能表现类星体内有我们还不知道的某种基本的物理机制。有些辐射好像产生于磁场内以相对论性的速度（即接近光速）运动的电子（学名叫“同步加速器辐射”），但过去还有其他的解释。最挑动读者兴趣的一个理论便是引力坍缩理论。这是可以提供这样巨大能量的机制之一。

设想有一个直径大约几百秒差距的庞大气体球，在其重力作用下作迅速的坍缩，在其坠落的过程中所释放的引力能量当是异常之大。为什么会这样呢？答案在这事实上：引力能量与质量的平方成正比而与表面到中心的距离（半径）的平方成反比。这里，我们假设半径迅速缩短时，质量不变。因此在坍缩过程中所释放的引力能量迅速地按半径缩短而增加。如果这能量或其中心一部分能量使气体致热，这可能说明（至少一部分）可见光的高度发射量。

**类星体的吸收光谱** 这里，我们需讨论某些类星体光谱里的一种特性，这种特性使天文工作者作出高度的奇思妙想。上面说过，类星体的光谱主要是宽的发射线，而且根据这些谱线的红移度，在遵循宇宙论的红移-距离关系的假设下，决定了它们的距离。可是类星体的光谱里也有几条吸收线而且由于这些谱线表现多重红移，使得问题更加复杂化了。如果假设是由于退行速度的多普勒效应，那么这些谱线的红移度便应该是一样的。

这些只在吸收线而不在发射线里觅得的红移，其数值不同的第一个解释，当是形成于类星体内的某种特殊物理机制。这像是和异常高的辐射流量一致的，而这种流量仍然不能根据我们知道的一般物理定律去解释的。可是有些天文工作者反对这个意见，因为发

射谱线不表现这种多重红移效应，于是作为另外一种意见，他们提出吸收线并不产生于类星体本身，而形成于这些遥远天体的光线经过它们和我们之间的星系或气体云的空间里。大多数情况下，这些星系像是看不见的，它们是早已熄灭的暗星所组成的"死星系"，以及恒星形成后所剩余的气体与尘埃的遗体。根据这个思想，吸收谱线将参与这些个别星系的退行速度，而这些星系的数目可能有六七个之多，每一个在类星体的光谱线上造成一个不同的红移。

截止在 $\Delta\lambda/\lambda=2.5$ 处，很少有几个类星体的 $\Delta\lambda/\lambda$ 的数值超过 2.5，这个事实显然是需要解释的。虽然这样大的红移可能表示这些光源在极其遥远的天体上，我们却不能说这些类星体超过现今最大望远镜所能达到的范围，从而取消了这个问题。最近提出的一个看法是，在这些距离处有某些吸收介质使类星体变暗，而且这些掩蔽的介质是氢，而这些氢又是"宇宙大爆炸"后几秒钟里以高速从原始气体中射出所留下的残余。自然，要探测出这些遥远的氢气是有很多困难的，虽然奥克在一个谱线的红移度达到 2.9 的类星体前面寻找到少量的中性氢。其他的氢气云可能据 21 厘米波的谱线测量而终被发现，它们和可见光谱里的吸收线一样，也具有大的红移。

**作为类星体的星系核**　这里，我们只讨论了作为遥远天体的类星体，但是更加明显的是：多数（纵然不是全部）旋涡星系的核心是极其特殊的物理变化过程的所在地。红外天文学工作者已经发现银河系中心发射很强的红外辐射。事实上，这些辐射的强度和我们在塞弗特星系〔塞弗特(Seyfert)星系是指核心处发射蓝光谱而且经常是射电源的旋涡星系〕里所发现的情形相似。所有的旋涡星系核心处是否都发强的红外辐射，还是一个未能解决的问题，但是现在有几个射电观测队正在研究，希望于最近的将来问题得到解决。现在我们只能说已知的证据表明正常星系与塞弗特星系之间有密切的关系，如果观测发展到整个可见的光谱内，旋涡星系和塞弗特星系间的关系好像和塞弗特星系与类星体之间的关系很是相似。

桑德奇曾经估计过可见宇宙里类星体的数目，林顿-贝尔(Lynden-Bell)更根据这个数字计算了现时还存在的"死了的类星体"的数目，这数字至少在本星系团里是相当高的。林顿-贝尔为了解释旋涡星系、塞弗特星系与类星体之间的联系，以及对于银河系核心发出大量红外辐射而提出的假说是由于银心处有一个"死了的类星体"。

现在我们需讨论一下，所谓"死了的类星体"是什么意思。由我们所了解的类星体的特性，得知它们比银河系一类的旋涡星系寿命要短得多，而且旋涡星系中心有类星体，它们的形成应与星系本身的形成同时。由于类星体的演化迅速而正常恒星还处在形成阶

段,它已经将它的核燃料耗尽,又因为它的质量异常之大,便会发生引力坍缩。类星体终必达到这样一个阶段:它的引力场变得如此大,以致没有光球能够从它里面出来。对于光学天文工作者而言,它已经算是不存在了。但是由于其强烈的引力场,它对于其周围的物体仍有很大的引力效应,因此林顿-贝尔建议,空间里质量聚积的中心处即星系的核心处,应有这种死去的类星体。

那么,这种类星体的性质是怎样呢?我们基本上应该把它看做是银心处的一大团气体旋涡,由于重力作用,物质不断地被吸引进去。这些粒子受到气体旋涡磁场变化的作用而加速,于是在旋涡的外部,这些粒子转化为宇宙线,至于旋涡内部由于粒子碰撞的频繁,它们的动能转化为热能,于是发出强的红外辐射。据林顿-贝尔估计,要说明银心区红外辐射的强度,每一世纪内应有 0.001 个太阳质量的物质坠落到类星体内去;对于塞弗特星系的核心而言,这种物质坠落的速率还要大些。结束这一节以前,我们还需叙述一下,怎样利用类星体测量行星际空间电离气体的密度。除了太阳系形成时留下的残余,如尘埃、陨星与小行星之外,还有电离原子与自由电子组成的庞大云团,不但是从太阳附近到太阳系外缘的星际气体逐渐稀薄,而且在点与点之间也有不连续的变化。这些物质里无疑有一些来自太阳而形成广袤的日冕,其余一些可能从太阳系以外而来,由于摄引力被太阳吸引而形成激溅日光〔太阳外围星际空间里的尘埃与气体,受太阳的引力而被俘获,并以高速坠落日面,造成一种急溅。于是坠落的气体形成外日冕,在太阳周围形成一团热气的保护盾,更接收坠落物碰撞时所造成的剧烈冲击使日冕的温度增高。这便是日冕形成于星际介质的溅落理论〕。

希顿托夫(Siedentoff)与伯尔(Beha)在行星际空间探测到的自由电子,经证明是不确实的,现在已经知道行星际的电子密度比他们所估计的要小得多。就太阳的附近区而言,可在日全食时对日冕进行照相观测,以此去决定太阳系边界之外的运动"气体"的密度。

但是激溅日冕的表面到地球轨道之间的区域,不能用这种方法去研究,迄今还没有直接测量这些电离粒子的密度的方法。可是现在可以使用射电的方法去探测,即用射电方法(而不是目视方法)去观测射电源。简单地说,射电波经过含有自由电子的空间时,只要中间的介质密度不是均匀的,这些电子的某些特征就会发生改变。射电波发生的改变可以和星光经过地面大气所产生的闪烁现象相似。

这种精密测量的一个必需条件是射电源需有很小的角直径,因此我们不能测量银河系里范围较大的射电源。类星体用于这种测量相当合适,而且在黄道面附近幸运地有几个类星体,太阳经过某些星座(如黄道十二宫)时可能掩蔽它们。将这些类星体在远离太阳时与被太阳掩蔽时我们所接收到射电辐射加以比较,便可研究它们经过日冕各层时在

强度上发生的改变。以后我们要谈到这个方法在另外一类特殊天体(脉冲星)的发现上所起的作用。

最后,我们再回到塞弗特星系、兹维基体(即N型星系〔N型星系是指有恒星状的核心、外边有围绕暗淡雾气的河外星系〕)与类星体三者之间的关系问题,这三种天体产生的能量是同类的,只是它们所发射的分量有差异而已。这种能量输出的级别,像是和它们的距离有关系的。普勒吉曼(Plageniann)等人对于发现红移在类星体中作随机的分布提供有说服力的证据,表明这些天体实际在宇宙论性的距离上,而且在宇宙演化的适当时间里形成。如果这个假说是正确的,类星体在这三类天体中当是最遥远的。塞弗特星系虽远,但和我们最近,至于N型星系却在这两类天体之间。

这个问题无疑是很玩弄人的。由于确定类星体内能量形成的机制而遇到严重困难,所以在这些极端情况下支配物质性能的许多物理概念很可能需要重新审查,而且需要提出另外一套崭新的物理定律来。

## ◀脉　冲　星▶

我们讲过,在研究从太阳抛射到空间的带电粒子大云团(太阳风)上,类星体怎样起了有益的作用。如果射电源的角直径很小,河外射电源的射电波经过这些"等离子云"时就会产生畸变。寻常的射电源,如塞弗特星系(甚至银河系内的射电源)都太大,不能造成闪烁现象,这种现象可以比拟做星光通过大气时造成的闪烁。

1967年休伊什(Hewish)和他的同事们研究类星体时,首先发现了脉冲星。他们利用以闪烁方法寻找类星体的特制望远镜(因为射电波的这种特殊变化只对很小角直径的天体而言才找得着,这便成了从射电源里区别类星体的一个简单方法),由于这架射电望远镜的工作波长为3.7米,所以对天空的大区域都曾系统地搜寻过了。在这巡天普查的过程中,它们所表现出来的闪烁现象使我们找到了许多射电源。

可是1967年8月他们发现一个很微弱的射电源,闪烁得异常迅速,由以后的观测才知道它在天穹上占着一个固定的位置,因而这是天空的一个射电源而不是地上的无线电波。从那时以后,接着有许多射电天文台发现几个脉冲星,特别是在英国剑桥与焦德堤、加利福尼亚的金石村(goldstore)、澳洲的帕克斯(Parkes)与蒙隆系(molongo)和波多黎各岛的阿果西波等射电天文台。

这些脉冲波的严格规律性使早期的研究者不可避免地猜疑它们为太阳系外有智慧的

生物发出的无线电信号，于是进行研究事实是否真是这样。在首先发现的编号为CP1919的一颗脉冲星里，每秒内有15个脉冲信号，其间隔的时刻为1.337 011 3秒。可是由很精密的时刻测定，得知这些脉冲时间在缓慢地变短，接着就被证明这是由于地球围绕太阳运动而接近这个射电源所产生的多普勒效应。将这种效应计算进去之后，脉冲周期便成了1.337 011 3秒，这是一个不变的常数，由观测而生的偏差只有其几百万分之一而已。

自然，在消除了由于地球运动而来的多普勒效应以后，我们更想寻找是否还有剩余的多普勒位移，因为假设这些脉冲是由太阳系以外的其他行星而来，那么由于这颗行星围绕它的太阳运动也应产生它的多普勒效应。可是一切做过的检查都得到负号的结果，这说明除了地球的运动之外并没有别的行星的运动使脉冲的周期发生变化。

**脉冲星的直径** 我们已经讨论过某些类星体的亮度变化，以及怎样帮助天文工作者估计那一类天体的有效直径，同样根据对脉冲星而来的射电脉冲时间的测量，也可以估计它们的大小。由于射电波以光速传播，因而脉冲星的直径不能大于脉冲穿过它本体的时间内所经过的距离。从一个典型的脉冲星而来的脉冲不限于一个波长，而占有一个范围内的频率，如果有方法测量脉冲的宽度，我们便能找到它的实际的持续时间。例如CP1919，脉冲的持续时间在10～20毫秒之间，因此它最长的直径约为5 000千米，仅是地球直径的一半。由其他脉冲星得来的结果基本上是相似的，表明这些天体的体积类似地球，因而比太阳小得多。这一发现使我们立刻想到白矮星。可是，虽然很多白矮星已经被人研究了几十年，但没有一颗表现过射电式的脉动。

**脉冲星在银河系里的位置** 以上讲过，类星体被看做是很遥远的河外天体，可能在可见的宇宙的极端。脉冲星具有这样短的直径这一事实立刻意味着它们应在银河系内，可能和我们很近。最近已有几颗脉冲星被证认为可见光源，如武仙X-1，即武仙HZ，是一颗光学脉冲星，其周期与X线的脉冲星相同，又如天鹅X-1与半人马X-3两颗脉冲星都被人类找到它们的光学对应体。

纵然这样，天文工作者曾对脉冲星的距离作了相当精确的估计。大家熟知光速在真空里比在密的介质(例如水)里稍微快些，而一切射电波无论波长如何，都以光速传播。可是射电波经过电离气体，速度便会发生变化，短波比长波的传播速度较快。

星际空间不是理想的真空。20世纪初哈特曼(Hartmann)对某些热而且远的B型星进行观察，发现到光谱里电离钙K线的特殊现象，首先证明了这个事实。他在一个交食双星(猎户δ星)里，发现这两颗星在绕公共重心的轨道上运行时都表现有造成多普勒效应的特征性振荡，只有K线稳定不动，而且与模糊的氢线和氦线不同，是很锐而窄的谱线。

进一步的研究确定这些谱线没有位移，而且它们的浓度与距离成正比，这便表明这些谱线是由我们和这对双星之间的星际稀薄气体的吸收效应所形成的。更重要的是这些冷云的成分，大部分是中性氢，小部分是电离氢。这是早已预料到的，因为氢是最丰富的元素，可惜的是这些电离氢的谱线不出现在光谱里，因此其存在只能由间接的推论得出。氢的电离是由高热量的紫外辐射所做成，这种辐射剥掉氢原子唯一的电子，结果使星际空间有自由电子的存在。至于射电脉冲的弥散现象，是由大的冷区里的少量电离氢和小的热区里的大量电离氢合并而形成的。如果已知空间的电子密度，则由计量波长不同的波到达所需的时间，便能算出脉冲波所走过的距离。后面这种计时的测量比较容易进行，而仅有的困难是在测量电离气体的密度上，这便在用这种方法所测量的距离里介入一些不确定的因素。休伊什和他的同事们假设空间每立方米内有 1 000 个电子，这样便求得 CP1919 的距离约为 126 秒差距。

已经测定距离的脉冲星，最近的一颗在狮子座内。这是 CP0950，它距离我们只有 30 秒差距。大多数脉冲星的距离的数量级是几千秒差距。

**脉冲星在银河系里的分布**　已知的脉冲星很明显是银河系内的天体，据宇宙尺度而言，有些是和太阳很接近的。我们将首先发现的一批脉冲星的位置给表示在银道坐标图上，没有发现它们和银道面或银晕有什么联系。它们在银河系里的分布好像是随意的，有些和银河很接近(如 CP0328、PSR1749)，有些在银极区(如 CP1133)。

可是，最近在蒙隆哥射电天文台发现一些新脉冲星，它们在银道面内显然聚集成两个或三个群。这些新发现的脉冲星很引人注意，它们的位置在银河系旋臂里或其附近。这种集成小群的趋势，可能与超新星爆发有联系。

**脉冲星的性质**　脉冲星是体积很小，像行星那样的天体。这一事实说明我们所讨论的是白矮星或中子星。脉冲星发现以前，白矮星与中子星都被看做是没有人观测过的理论上的模型。我们认为应该适当地在这里讨论一下这两种星的性质，并谈谈它们怎样嵌合在恒星演化的图案里。白矮星一向被人认为是不正常的星，它们不遵循质光关系，对于光度而言，它们具有过多的质量。因为它们的质量虽然只是 0.6～1.5 个太阳的质量之间，但被压缩在像行星那样的体积之内，因而它们的密度异常之高，高至最重金属的密度的 10 万倍。怎样解释这样高的密度呢？福勒(Fowler)解答了这个问题以后更由费米(Fermi)加以彻底的研究。原来在很高的压力下，原子内的电子被压挤出它们的正常轨道。因此，我们所研究的原子核沉没在电子的“海洋”里。这便是所谓“简并”物质，其特性是质量愈多时所占的体积愈小。正常物质坍缩为简并物质，其临界压力的数量级为 1 000

万个大气压。我们讲过的白矮星代表大多数恒星在完全熄灭以前的最后的演化阶段。

假使比白矮星的质量还大的天体处在类似的情况下，它内部所受的压力当然比白矮星的压力还高。在这种情况下，电子被压入原子核与质子结合形成中子。于是便出现一种为中子(而不是电子)组成的简并物质的"海洋"。

这样的天体叫做中子星，现在认为它们是由超新星爆发而形成的。脉冲星可能是假想的中子星，第一个重要线索是由于发现了与已知的超新星遗迹有密切联系的两颗脉冲星。它们是蟹状星云附近的脉冲星与被证认为船帆座 X 星(可能是超新星的外壳)的船帆座脉冲星。有意思的是，这两颗脉冲星是已知周期中最短的两颗：船帆座脉冲星为 89 毫秒，蟹状星云脉冲星仅 33 毫秒。

在理论上，还有几个理由使人相信脉冲星是中子星而不是白矮星。假使中子星(如距离分别为 30 秒差距与 49 秒差距的 CP0950 与 CP1133)是典型的白矮星，我们可能在 5 米口径的反光镜里看见它们很暗的发光体。可是迄今中子星还没有为目视或照相观测到，这说明它们不是白矮星(虽然还不敢严格地断定)。

我们还需叙述并解释这些发出射电脉冲波的机制有两种很不相同的理论。由于这两种理论各有其可取之处，我们将详细讨论如下。

**脉冲星的脉动理论** 我们知道太阳发射电波，原因是从光球发出的声波通过它上面的太阳大气，当大气的密度变稀薄时，波的传播速度迅速增大，直到变成激震波〔激震波亦称冲击波或核波，是由于高速运动或爆炸等在介质中引起的压缩作用，以声速传播的过程。超声速飞行与原子弹爆炸均可造成激震波〕。这些波的效应将使电子在外层大气里加速到很高的速度，于是这些电子经过太阳周围电离气体流时便产生射电波。以上讲过，太阳风是从太阳表面射出到行星际空间的电离粒子云。据脉冲星的脉动理论，它的整个大气的振荡也造成类似的效应，这些振荡频率和我们接收到的射电脉冲的频率相同。

这些天体是否可能振荡得和高频射电辐射所需要的速度一样快呢？在蟹状星云里与船帆座内两个脉冲星被发现以前，有一个严重的困难：据计算白矮星不能振荡得这样迅速，以致其频率达到观测到的脉冲星的频率，中子星又好像振荡得太快了一些。我们知道有两颗脉冲星周期很短，仅 33 毫秒与 89 毫秒，把它们证认为中子星，这困难便不存在了。现在已不怀疑脉冲星的振荡周期可能短到这个程度，但是假使白矮星坍缩时得到比几秒的周期还短的振荡，它便是完全在重力的影响下坍缩了。解除这个困难的唯一方法是假设大气层产生射电波的振荡速率，这速率以某种方式和星体内振荡较慢的速率相耦合。总之，如果采取脉动的观点，中子星的理论好像更适合观测的事实，特别是对于周期很短

的脉冲星。

**脉冲星的旋转理论**　一颗迅速旋转的白矮星，其表面的活动斑点可以发出一束射电波，像灯塔送出一束扫射的光一样。这是奥斯退克尔(Oshiker)提出而且发展的一种理论。这种理论可以解释周期较长(约1秒以上)的脉冲星。但是，如果将这种理论用于蟹状星云内的脉冲星，便立刻陷入困难。这样一颗星需每秒旋转30次，可是像白矮星那样大小与结构的天体，就必然会发生破裂或旋转得参差不齐，于是便与射电脉冲的规律发生矛盾。反之，中子星的直径在10～100千米之间，可以在这样高速下旋转而不致破裂。戈耳德(Gold)提出一个迅速旋转、周围有电离气体(等离子体)的模型去解说脉冲星，这些等离子体被一个很强的磁场固定在星体的表面上。由于高度电离的物质的超导性(即电阻降低到零的现象)，这些等离子体不能沿正交向越过磁场，于是它们随着星的表面旋转，再由于等离子体的范围比星体大得多，它们外围的速度接近光速，因此以这样高速运动的电子便会产生射电波。

进一步研究这种模型的细节时，我们发现有几个特性与最近的观测有惊人的吻合。戈耳德在这种模型的基础上预言，由于大家认为中子星形成于超新星的爆发，它们便可能与已知的超新星的位置有联系。这种看法从蟹状星云里与船帆座内的脉冲星得到证实，而且在理论上一颗超新星爆发时由于它的分裂可能造成多个中子星，这便可说明蒙隆哥射电天文台发现的两三个脉冲星组成的小集团。脉冲星的另一特性是脉冲的周期与其持续时间表现为确定的相关性，而且应该出现可以检查到的脉冲率的变慢特征。戈耳德所作的这个预言值得更进一步讨论。

超新星爆发的最后阶段所形成的中子星，可与迅速收缩的星的角速度相联系，从而估计其旋转周期，中子星开始的旋转周期为1毫秒。可是由于中子星的不稳定性以及发射气体到外围的等离子区里要耗损能量，这种迅速旋转不能维持很久，结果造成转率的降低。当能量损耗之时，由于物质的损失或射电的发射，转率继续下降不已。戈耳德由蟹状星云里脉冲星的精密计时的测量，证明射电发射的周期真有这一变化。这变化的分量很小，每年只有其原来周期的1/2 400，但是由于脉冲如此迅速而有规律，这是在完全可以探测的范围内的。其他脉冲星，特别是CP1919、CP0834、CP0950与CP1133，经德韦斯(Daviex)等人证明，也表现相同的效应。

由脉冲星产生的宇宙线我们可以估计得到，与脉冲星相联系的能量是异常之高，特别是在其形成的早期阶段里，以致这能量内大部分用来形成宇宙线。银河系里宇宙线的大部分流量很可能从迅速旋转的中子星而来。

**从脉冲而来的光辐射** 脉冲星的一个显著特征是：虽然探测由它们而来的射电辐射是比较容易的事，自从第一颗脉冲星发现以来，这些脉冲波便表现在电磁波的范围内，但是要从这些星去探测光波却异常困难。我们现在才明白，这是由于以前用了不适当的方法。天文工作者曾用大型仪器在脉冲星的区域里作过很多次的探测，但没有得到成功。直到最近大家才认识到这些天体在可见光区里的发射类似其射电波，以短脉冲的形式出现，于是才在蟹状星云脉冲星里探测到它的闪光来。它的方法是用高灵敏度的软片和高度巧妙的技术以增进落在软片上的辐射量，而连续拍摄一系列的照片。这种技术加以改进之后，还可能探测到其他脉冲星的闪射光。

**超密星与“黑洞”假说** 1967 年发现脉冲星并证认为一种很特殊的星，即多年前理论物理学家所预言的中子星，于是引起人们的兴趣去寻找另一类具有奇怪性质的天体“黑洞”。这一类星也是早已预言过的但还没有证实其存在。

恒星一般都是在流体静力平衡下的气体球，在其内部的每一点上，有指向外面的气压足与上面的气体重力取得平衡。如果从表面至中心向星的内部去，上面的气体的分量不断增加，因此需要和重力取得平衡的压力也应当均匀地增加至中心达到极大值。一般星与微密星的差异便由于这种压力。一般星体内的压力是由组成星体的电子与离子的随机运动而来。这是与温度和密度成正比的一种热磁效应，如理想气体方程式所描绘的那样。

在密度很大而温度不太高时，来源于量子化的压力（所谓简并压）则成为主要的因素，它起初来自电子间的排斥力。事实上，据鲍利的不相容原理，电子间不能彼此过于接近，换句话说，电子间有一种类似于压力的排斥作用，这只能在密度很大时才表现出来。电子的运动很有规则，只有其中很少一部分才是随机的，于是出现一种很强的内压力，它能维持一个稳定而较冷的星的存在，但只能提供很少的来自随机运动的热能量。这类星处于质量相当少的演化终期，在自然界里这便是白矮星。这种星中质量愈多的直径愈短，一颗典型的白矮星半径与地球的半径属于相同数量级，而它的质量却与太阳的质量属于相同数量级。

我们观测到的这类恒星不很明亮，因为它们只靠稀少的热能量而发出辐射，但不像一般恒星那样有连续不断的能源。电子的简并压只能使质量限于某一临界值（约 1.4 个太阳质量）的白矮星维持在稳定状态里。

如果密度再大达到在近似原子核的密度下的话，电子因核反应而被吸收，中子与质子之间也就会形成一种简并压。由这一种简并从而形成的压力所造成一种新的高密星，叫做中子星。只有在剧烈收缩下，如像超新星爆发所造成的坍缩，才能够形成这样的星。一

般人认为最近发现的脉冲星便是中子星。

我们不能预先精密地算出中子星质量的上限,因为我们对于核子力还认识不够。这上限应在太阳质量的1~2倍之间,也许可能达到3个太阳质量。超过这个临界质量的星便不会得到稳定,它将无限地坍缩而形成“黑洞”。这样的物体只能用广义相对论去描述,在它的内部,对于我们的习惯而言,空间与时间的关系互相颠倒。不用数学语言,这些性质是难于解释的。举例来说,正如时间对于我们来说应不断地流逝,在“黑洞”内空间便必然是不断地坍缩。于是没有任何光线能够从那里出来,由于空间比光信号还坠落得快,因而光不能向外面传播(因此取名“黑洞”)。黑洞对于它外面的特征是它的质量、电荷与角动量,因此可由它对于外面物体的引力和电力的效应去探测它。爱因斯坦发表他的广义相对论(1915)后不久,史瓦西便根据这理论计算了天体在其自身引力的影响下发生坍缩的情况。质量为$M$的星,半径收缩到$2GM/c^2$以下($G$表示万有引力常数,$c$表示光速)就会出现黑洞。$2GM/c^2$这个数通称为史瓦西半径。黑洞是否真的存在?它的主要特点又是什么?目前的看法很不一致。惠勒(Wheeler)说1972年天空中有三个天体可能(或大概)是“黑洞”。这类超密态的天体应是质量大的恒星坍缩后的最后产物。多数天体中,其物质强度足以阻止发生引力坍缩,因而没有变成黑洞的危险。引力坍缩在恒星的生存期内起一定作用,有些天文学家指出黑洞可能就是某些恒星的一种结局。

虽然黑洞是看不见的,但假使它是由一颗普通恒星的物质所形成的,它就有可能被探测出来。假使形成一颗中子星或黑洞的物质是气体,它们就会发热,足以发出X射线来;假使一个黑洞能从近邻的伴星得到物质,它也会发射出X射线。这种物质可能形成围绕黑洞迅速转动的圆盘。从圆盘发出的X射线,既非稳定不变的,也非脉冲式的,而可能是迅速波动的。拉芬尼说,他们正在(1972)观测的两个天体很可能是黑洞,这两颗星是双星系射电源天鹅X-1和小麦哲伦云X-1中的黑色凝聚物。在双星系中的黑洞能使来自可见伴星的物质流向黑洞。由于星系的转动,这种物质具有角动量,因此不会直接掉入黑洞,而是围绕它进行螺旋运动,所以这种增生物质会形成一个环绕黑洞旋转的圆盘。这只圆盘将是一个稳定的天体现象,因为物质从内线掉下去时,新的物质又会补充到外线。圆盘中的气体原子互相碰撞生热,从而发出X射线。以上是有关黑洞如何形成与其性质的一些理论推测。

澳大利亚一个天文研究小组宣布,他们已经定出两颗恒星爆炸消失之后留在天空中两个黑洞的位置,它们距离地球大约7 000光年。原来恒星爆炸之后,由于发生巨大的压力作用,因而恒星覆没以后可能留下黑洞,即只剩下一个大约5千米的物质团。那里引力

大到接近它的任何物质都被吸收进去，并被压缩到1 000万摄氏度的高温。这一过程可能引起X射线辐射，因而有可能探测到黑洞。这样将使人们可能充分研究恒星演化的最后阶段，并说明恒星不能含有无限多的能量，当能量被耗尽后恒星就会坍缩。

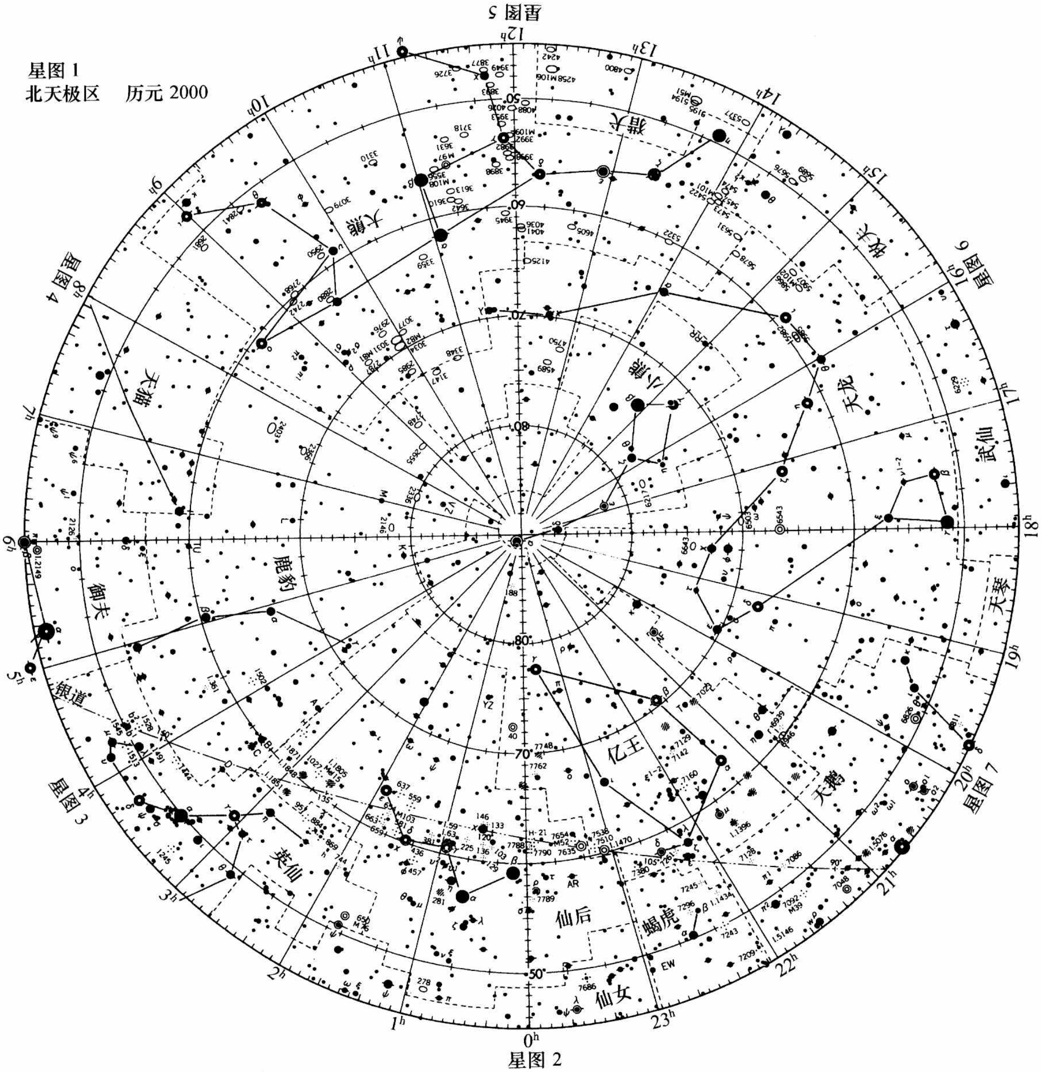
总之，由于对黑洞的研究与其观测的发展，天体物理学家愈来愈相信，他们将不得不把黑洞作为天体物理体系的一个组成部分来处理。英国剑桥大学的霍金推导出“黑洞力学”的四个定律。由于1972年在黑洞的研究上取得一定的进展，因此有人将那一年看做是天体物理学的一个新分支——“黑洞物理学”研究的开端。

**对“黑洞”假说的批判** 尽管关于黑洞的研究已经如上所说，非常之多，但是整个黑洞学说仍然是一个假说，到目前为止，天文观测还没有证实黑洞的存在。从理论上来说，黑洞学说是以爱因斯坦的广义相对论为根据的。目前，只有少数几项观测事实(如水星近日点的进动，光线在引力场中的弯曲和引力红移等)显示了广义相对论的效应，因而作为黑洞学说理论根据的广义相对论本身也还有待于天文观测实践的进一步检验。

此外物理学中每一项理论也必然有它的适用界限，例如牛顿力学适用于一般物体的低速运动，对接近光速的运动，它就不能适用了。广义相对论即使对一定的物质运动状态是适用的，但也必然有一个界限，是否能应用到像黑洞学说里所讲的那种大质量、高密度的情况，也还是一个问题。总之，黑洞学说还只是一种假说，还要在天文观测中经受检验。同时，这也是对广义相对论与其适用范围的一种检验，因为黑洞是广义相对论的重要预测之一。

# 星 图

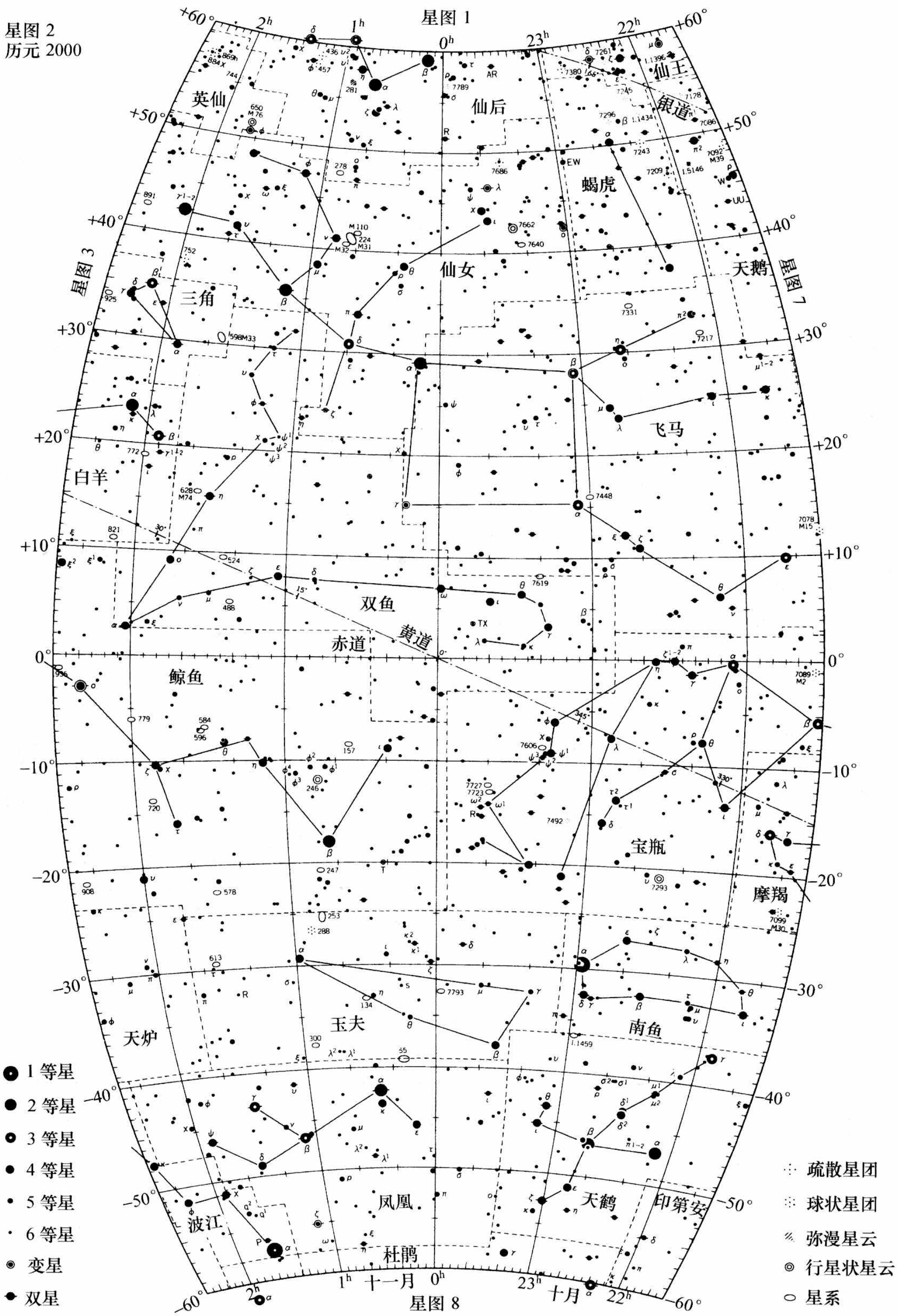
星图 1
北天极区　历元 2000



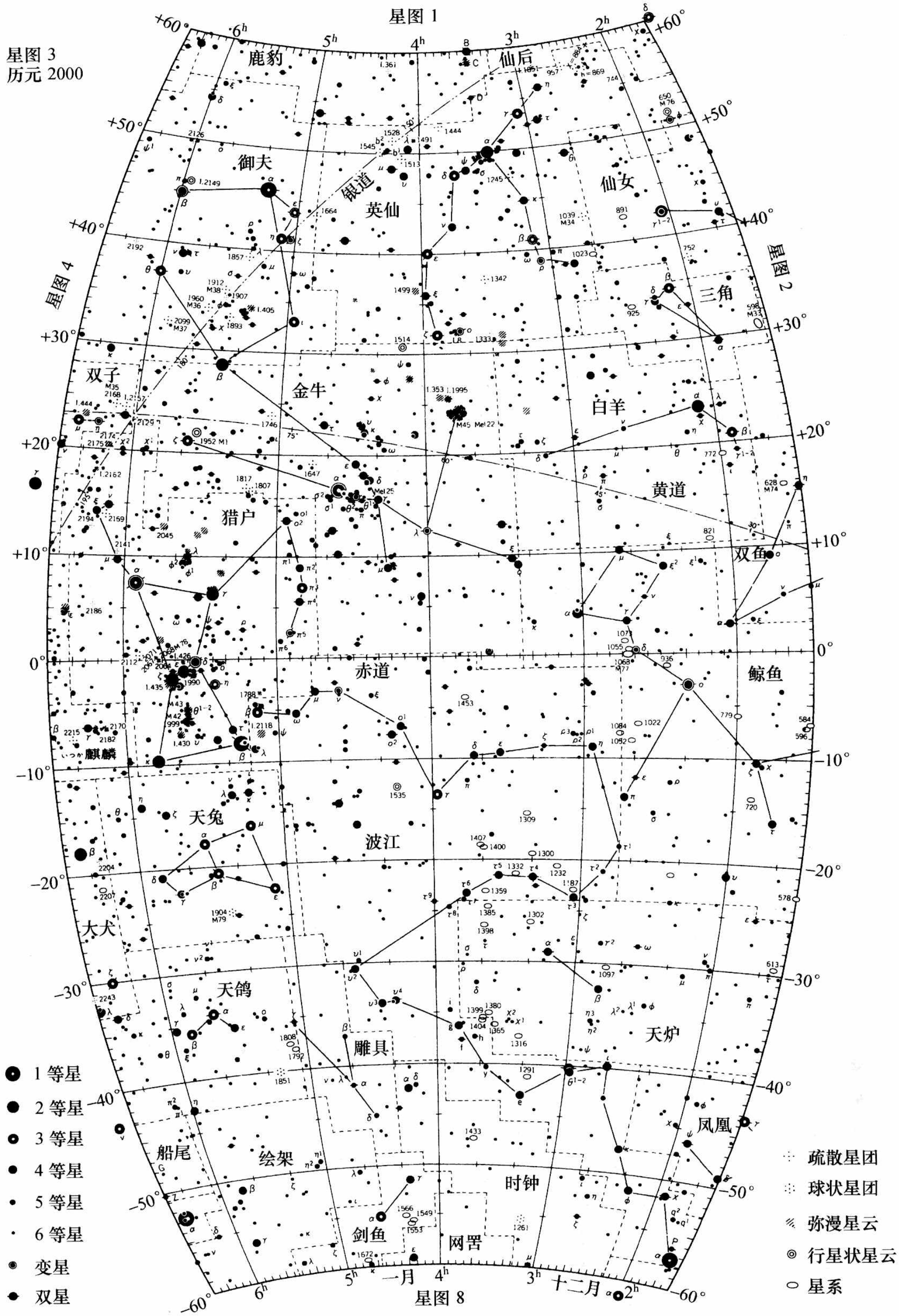

星图 2

● 1等星 ● 2等星 ● 3等星 ● 4等星 • 5等星 · 6等星 ◉ 变星 ● 双星 ⁘ 疏散星团 ⁘ 球状星团 ⁘ 弥漫星云 ◎ 行星状星云 ○ 星系

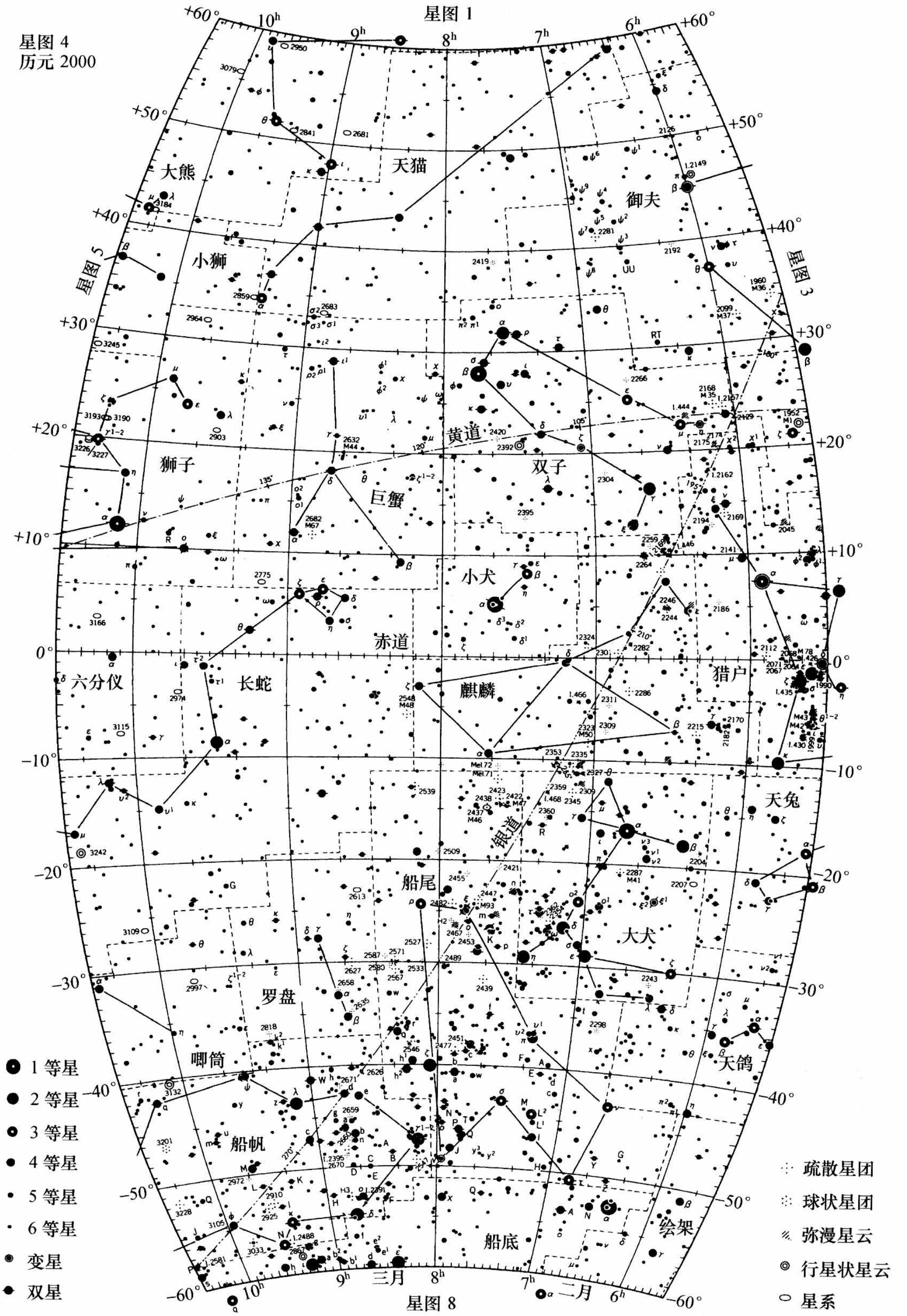
星图 2
历元 2000


星图 1
星图 3
星图 7
星图 8
英仙
仙后
仙王
银道
蝎虎
仙女
天鹅
三角
白羊
飞马
双鱼
赤道
黄道
鲸鱼
宝瓶
摩羯
玉夫
南鱼
天炉
凤凰
天鹤
印第安
波江
杜鹃
十一月
十月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

星图 3
历元 2000

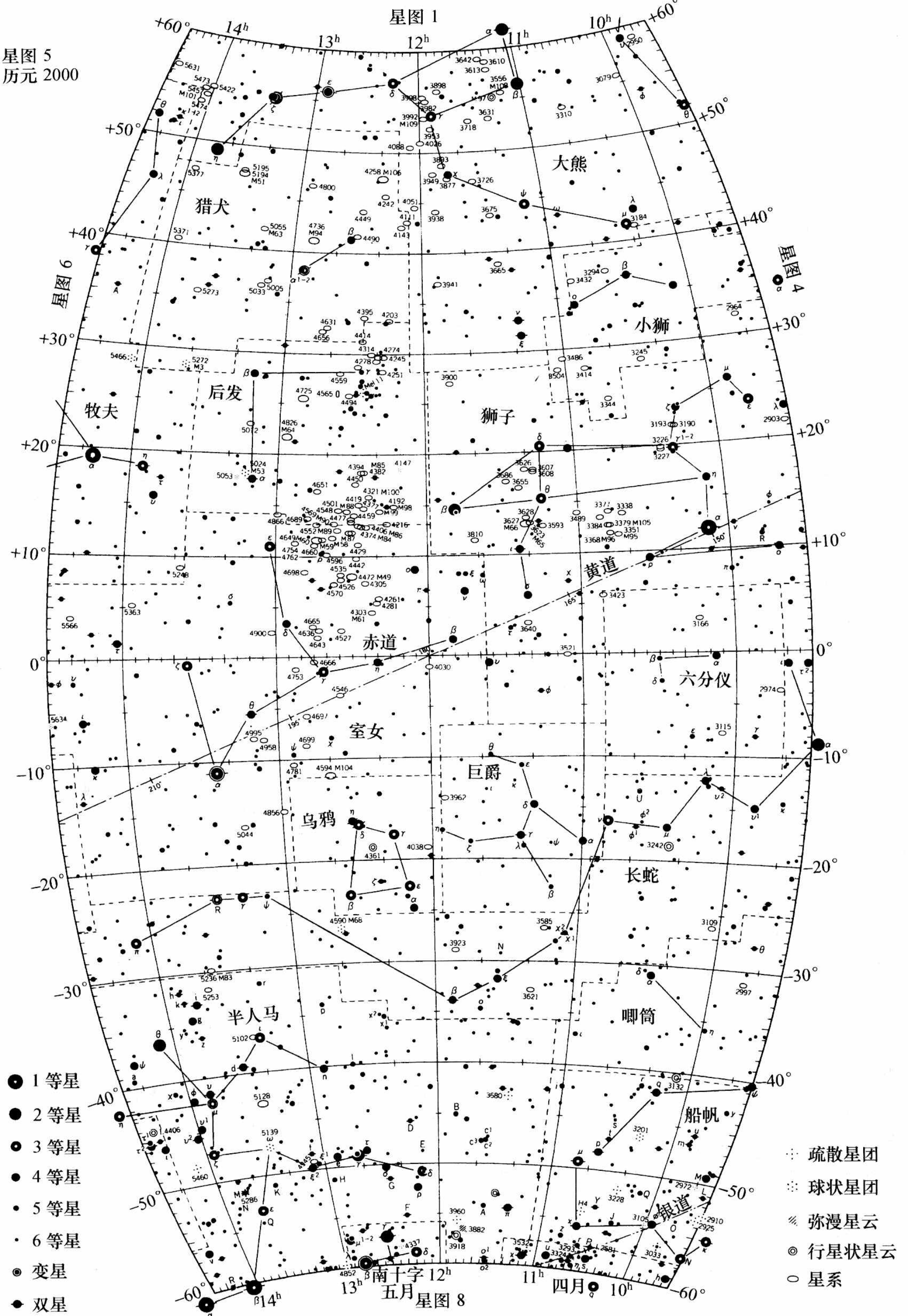

星图 1
星图 2
星图 4
星图 8
鹿豹
仙后
御夫
仙女
英仙
银道
三角
双子
金牛
白羊
黄道
猎户
双鱼
赤道
鲸鱼
麒麟
天兔
波江
大犬
天鸽
雕具
天炉
船尾
绘架
凤凰
时钟
剑鱼
网罟
一月
十二月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

星图 4
历元 2000

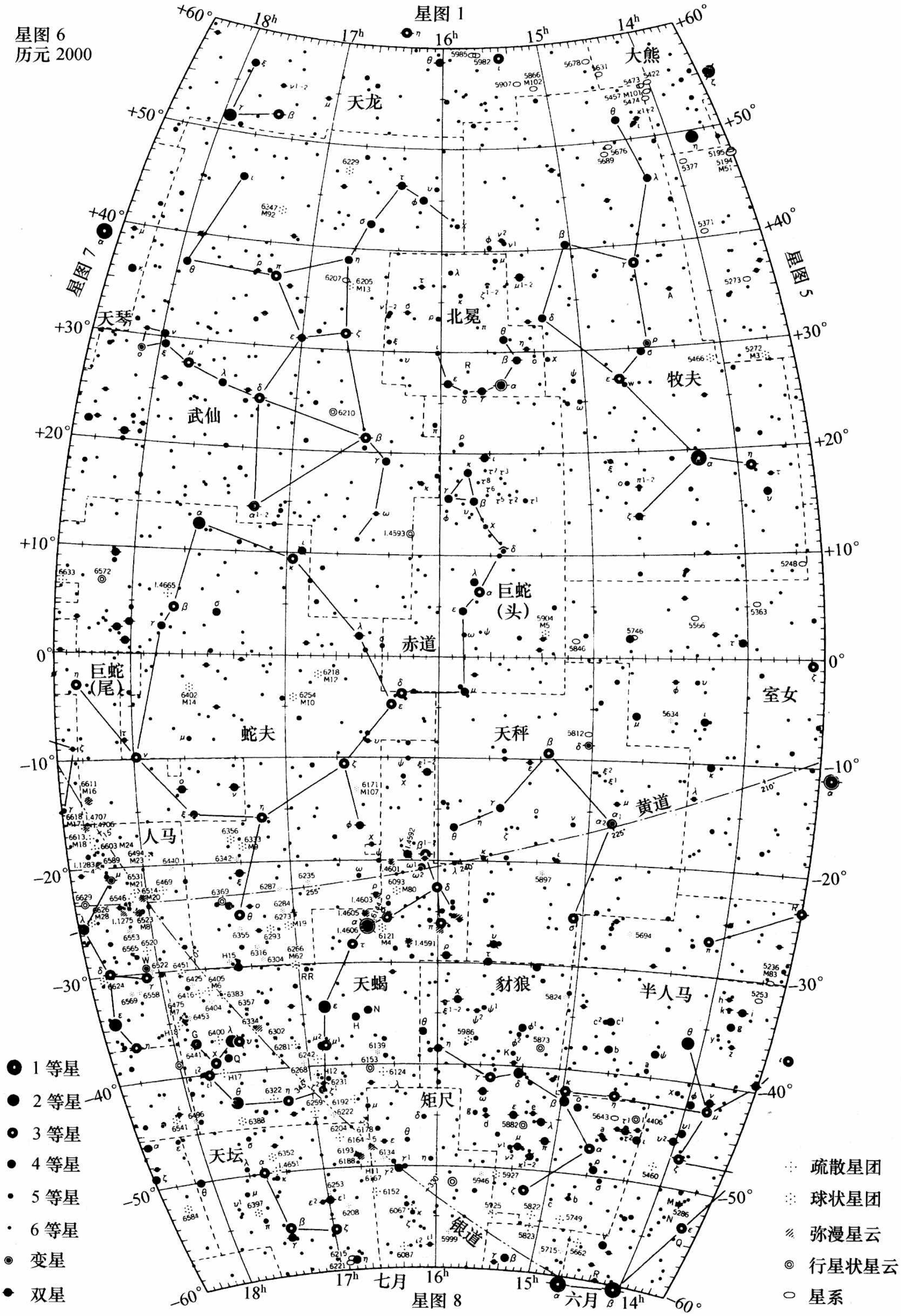


星图 1
星图 3
星图 5
星图 8
大熊
天猫
御夫
小狮
狮子
黄道
双子
巨蟹
小犬
赤道
六分仪
长蛇
麒麟
猎户
天兔
银道
船尾
大犬
罗盘
唧筒
天鸽
船帆
绘架
船底
三月
二月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

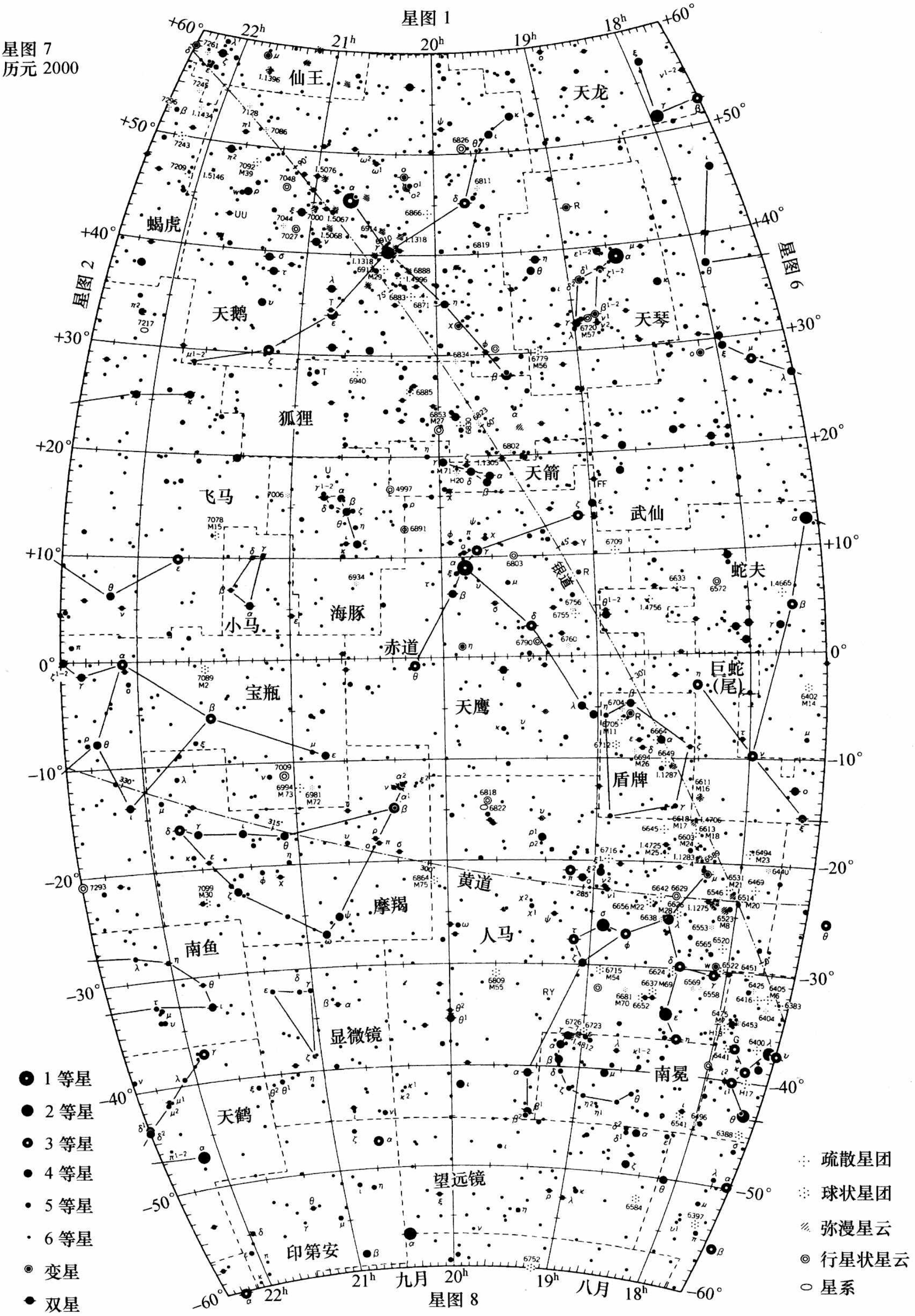
星图 5
历元 2000


星图 1
星图 4
星图 6
星图 8
大熊
猎犬
小狮
牧夫
后发
狮子
黄道
赤道
六分仪
室女
巨爵
乌鸦
长蛇
半人马
唧筒
船帆
银道
南十字
五月
四月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

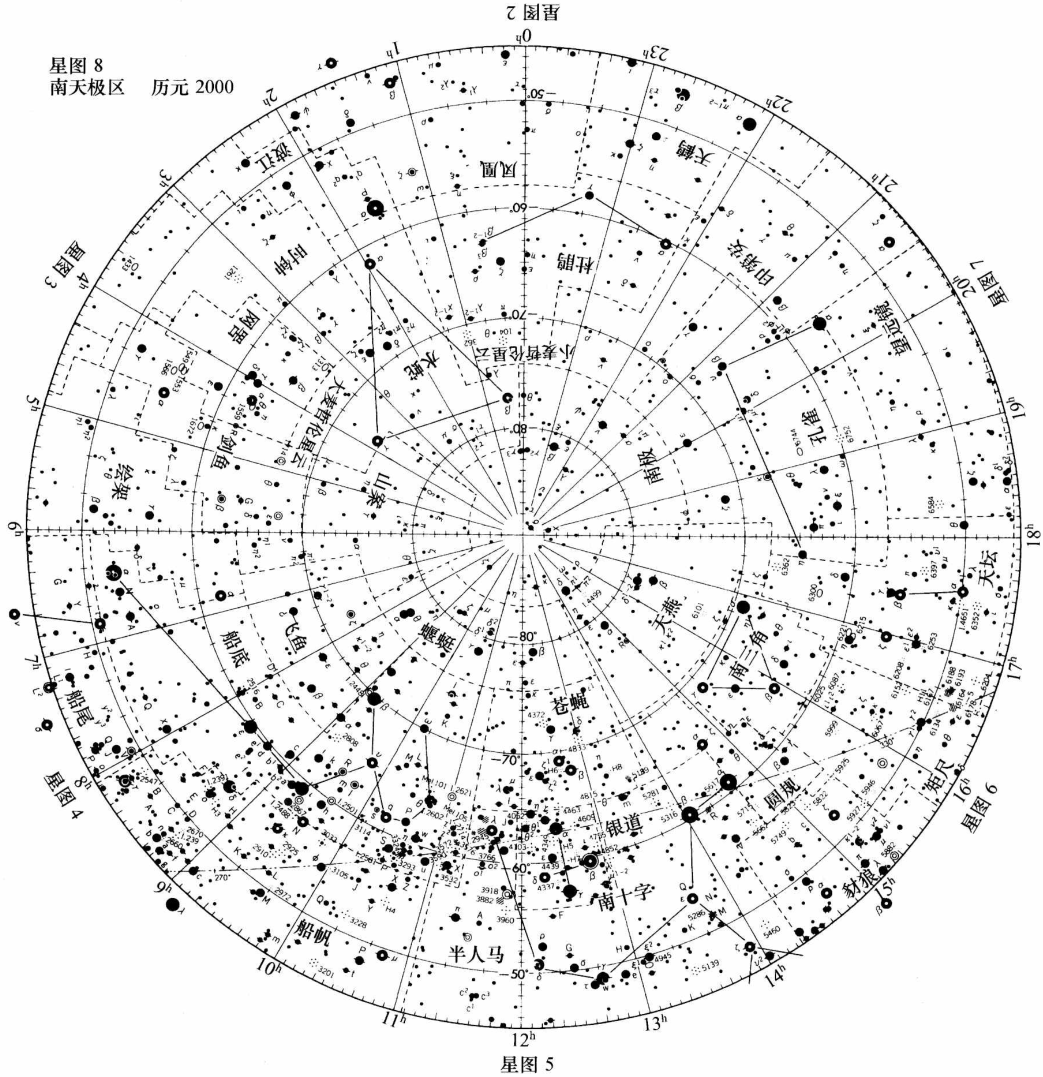
星图 6
历元 2000


星图 1
星图 5
星图 7
星图 8
+60°
+50°
+40°
+30°
+20°
+10°
0°
-10°
-20°
-30°
-40°
-50°
-60°
18h
17h
16h
15h
14h
大熊
天龙
武仙
北冕
牧夫
天琴
巨蛇(头)
赤道
巨蛇(尾)
蛇夫
天秤
室女
黄道
人马
天蝎
豺狼
半人马
矩尺
天坛
银道
七月
六月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

星图 7
历元 2000


星图 1
星图 2
星图 6
星图 8
仙王
天龙
蝎虎
天鹅
天琴
狐狸
天箭
飞马
武仙
蛇夫
小马
海豚
赤道
宝瓶
天鹰
巨蛇
(尾)
盾牌
黄道
摩羯
人马
南鱼
显微镜
南冕
天鹤
望远镜
印第安
银道
九月
八月
1 等星
2 等星
3 等星
4 等星
5 等星
6 等星
变星
双星
疏散星团
球状星团
弥漫星云
行星状星云
星系

星图 8
南天极区　历元 2000




1 等星　2 等星　3 等星　4 等星　5 等星　6 等星　变星　双星　疏散星团　球状星团　弥漫星云　行星状星云　星系

全天星图八幅由李元、李兆星编译